



ชุดทดลองการสื่อสารเส้นใยแสง
OPTICAL-FIBER COMMUNICATION



โดย

นายชลิต	ศวีขจรณ์	34.132103
นายเดวิด	รุ่งทิวาเรืองรอง	34.132127
นายสิทธิชาติ	สัคขรรมารักษ์	34.132133
นายอนุชา	บุญชวลิต	34.132139

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. อนันต์ ชัยเลิศวิชกุล

ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาเทคโนโลยีโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2535

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2535

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรม สาขาเทคโนโลยีโทรคมนาคม(เข้า)

เรื่อง ชุดทดลองการสื่อสารเส้นใยแสง (Optical-Fiber Communication)



(ดร. อนันต์ ชัยเลิศวิมลกุล) อาจารย์ที่ปรึกษา



กรรมการ

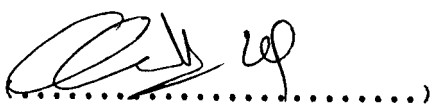
(...ศาสตราจารย์...)



กรรมการ

(...นายไมเคิล... สัตย์โยทาสกุล...)

กรรมการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนำ

ในปัจจุบันในระบบการสื่อสารทั่วไปจะใช้ตัวกลางที่เป็นเคเบิลทองแดงหรือใยแก้วใยพลาสติก ซึ่งมีปัญหาตามมา เป็นต้นว่ามีการสูญเสียของสัญญาณสูง เกิดการรบกวนจากสัญญาณภายนอกได้ง่าย เคเบิลมีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมากเมื่อเราต้องการส่งสัญญาณจำนวนหลายๆ ช่องในขณะเดียวกัน แต่ถ้าเปลี่ยนมาใช้ตัวกลางที่เป็นเส้นใยแสงแล้วปัญหาต่างๆ ที่มีอยู่จะหมดไป เพราะคุณสมบัติที่ดีหลายๆ ประการของเส้นใยแสง ถึงแม้ว่าในปัจจุบันราคาของเส้นใยแสงจะยังแพงอยู่ แต่ในอนาคตมีแนวโน้มว่าราคาจะถูกลงเรื่อยๆ เพราะว่าวัตถุดิบในการผลิตเส้นใยแสงนั้นมีอยู่มากมายตามธรรมชาติ ดังนั้นการศึกษาเกี่ยวกับเส้นใยแสง จึงน่าสนใจมากสำหรับผู้เกี่ยวข้องหรือผู้ที่สนใจเกี่ยวกับระบบการติดต่อสื่อสารในอนาคต

สำหรับรายงานฉบับนี้ เป็นเพียงการทดลองเบื้องต้นเกี่ยวกับการใช้งานเส้นใยแสงเป็นตัวกลางสำหรับส่งผ่านสัญญาณเท่านั้น โดยเน้นที่สัญญาณทางเสียงและสัญญาณในลักษณะรูปร่างต่างๆ พร้อมทั้งการมัลติเพล็กซ์-ดีมัลติเพล็กซ์ สัญญาณเหล่านี้ ซึ่งทางผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่า คงจะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจศึกษาเกี่ยวกับการสื่อสารเส้นใยแสงได้บ้างพอสมควร อนึ่งทางกลุ่มผู้เขียนขอขอบคุณอาจารย์ ดร.อนันต์ ชัยเลิศวิมลกุล ที่ได้ให้คำแนะนำและคำปรึกษาในการทดลองและเขียนรายงานฉบับนี้ และขอขอบคุณ พี่สุรพล นุญจันทร์ นายช่างอิเล็กทรอนิกส์ ประจำภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ในการอำนวยความสะดวกและช่วยจัดหาสถานที่-เครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆที่จำเป็น ทำให้การทำงานนี้สำเร็จได้ด้วยดี

คณะผู้จัดทำ

16 มีนาคม 2536

สารบัญ

หน้า

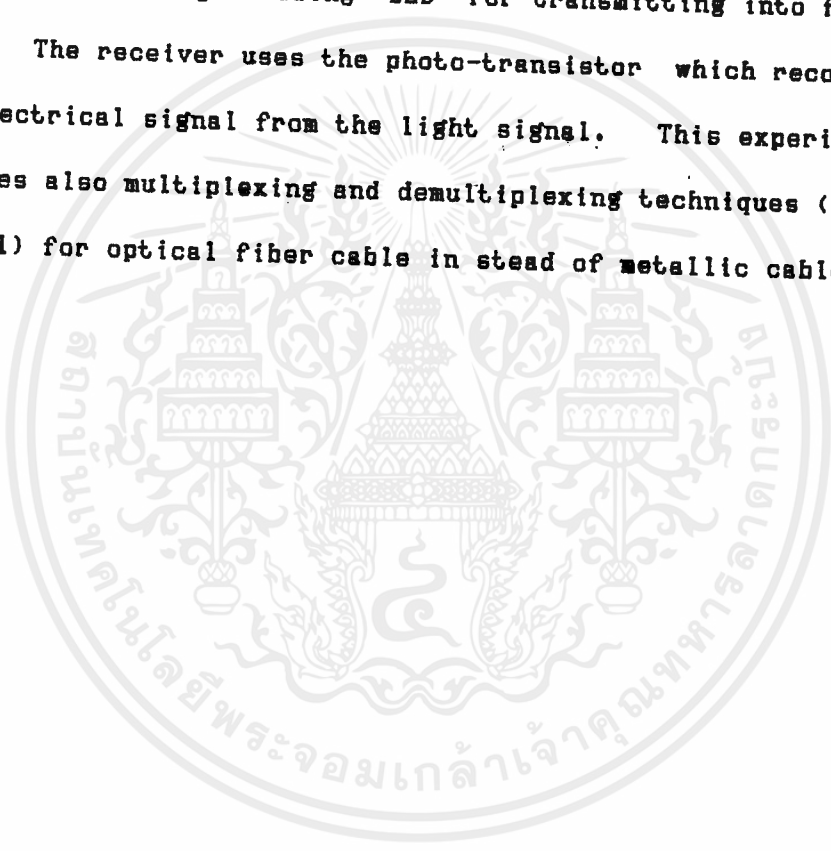
บทคัดย่อ	
วัตถุประสงค	1
ทฤษฎี	
- การแนะนำเรื่องการสื่อสารทางแสง	1
- การสื่อสารเรื่องเส้นใยแสง	8
- ระบบเส้นใยแสง	14
- ตัวกำเนิดแสง	15
- ตัวรับแสง	27
- การสร้างระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสงและการบำรุงรักษา	38
- วงจรและหลักการส่งสัญญาณแบบ Intensity Mod.(Demod.)ผ่านเส้นใยแสง	59
- วงจรและหลักการส่งสัญญาณแบบ Amplitude Mod.(Demod.)ผ่านเส้นใยแสง	67
- วงจรและหลักการส่งสัญญาณแบบ Pulse-Width Mod.(Demod.)ผ่านเส้นใยแสง	72
ชุดทดลองการ Multiplex และ Demultiplex (4 channel)ผ่านเส้นใยแสง	79
- การทำงาน	79
- วงจรภาคส่ง Multiplexer	81
- วงจรภาครับ Demultiplexer	84
- ผลการทดลอง	91
- สรุป	100
ปัญหาที่พบในการทดลอง	101
แนวทางในการพัฒนาต่อไป	103
รูปตัวอย่างการต่อวงจรทดลอง	104
กิตติกรรมประกาศ	107
บรรณานุกรม	108
ภาคผนวก	109

บทคัดย่อ

ในโครงงานฉบับนี้ เสนอการทดลองเกี่ยวกับ การส่งสัญญาณรูปคลื่นในลักษณะต่าง ๆ กัน และสัญญาณเสียงผ่านตัวกลางที่เป็นเส้นใยแสง โดยใช้การแปลงสัญญาณทางไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง ผ่านไดโอดเปล่งแสง เพื่อส่งผ่านเข้าไปในเส้นใยแสง สำหรับด้านรับจะใช้ Photo-Transistor ทำหน้าที่แปลงสัญญาณแสงกลับมาเป็นสัญญาณไฟฟ้าอีกครั้งหนึ่ง โดยในการทดลองนี้ใช้การส่งสัญญาณ พร้อมทั้งการมัลติเพล็กซ์ และดีมัลติเพล็กซ์สัญญาณต่างๆ จำนวนสี่ช่องสัญญาณ ในด้านของเทคนิคต่างๆจะมีลักษณะที่คล้ายกับระบบที่มีใช้กันอยู่โดยทั่วไป เพียงแต่การทดลองนี้จะใช้เส้นใยแสง เป็นตัวกลางแทนสายเคเบิลที่เป็นโลหะ

Abstract

This project presents the experiment concerning about wave-form transmission in various techniques via optical fiber media. The main principle is to convert the electrical signal to be the light signal using LED for transmitting into fiber cable. The receiver uses the photo-transistor which recovers the electrical signal from the light signal. This experiment proposes also multiplexing and demultiplexing techniques (four channel) for optical fiber cable in stead of metallic cable.



วัตถุประสงค์ของโครงการ

เนื่องจากในปัจจุบันการเรียนการสอนเกี่ยวกับคุณสมบัติ และการนำไปใช้งานของเส้นใยแสงยังไม่ค่อยมีมากนัก ส่วนใหญ่จะเป็นการเรียนรู้เฉพาะทางทฤษฎีเท่านั้น แต่อุปกรณ์หรือชุดทดลองเกี่ยวกับเส้นใยแสงมีน้อยมาก ทำให้การศึกษาเกี่ยวกับเส้นใยแสงยังไม่สมบูรณ์นัก เพราะการที่ได้ทดลองปฏิบัติเกี่ยวกับคุณสมบัติและตัวอย่างการใช้งานต่างๆ ของเส้นใยแสง จะทำให้ผู้ที่ศึกษาได้ประสบการณ์ ได้เห็นของจริง ทำให้สามารถเข้าใจและรู้จักเส้นใยแสงได้ลึกซึ้งยิ่งขึ้น

สำหรับชุดทดลองที่จะทำขึ้นมานี้จะเน้นที่การส่งสัญญาณเสียงและสัญญาณอื่นๆ ที่เราสามารถที่จะผลิตได้โดยง่าย ผ่านตัวกลางที่เป็นเส้นใยแสง ในเทคนิคและวิธีการต่างๆ พร้อมทั้งการ มัลติเพล็กซ์สัญญาณหลายๆอย่าง หรือหลายช่องสัญญาณ ผ่านตัวกลางที่เป็นเส้นใยแสง

ทฤษฎี

การแนะนำเรื่องการสื่อสารทางแสง

-รูปแบบของการสื่อสารทางแสง

การสื่อสารทางแสงคืออะไร?

ทุกคนคงจะเคยใช้การส่งข่าวในรูปแบบของ "ไฟฟ้า" โดยผ่านทางโทรศัพท์, ดาวเทียม, คลื่นวิทยุ, ไมโครเวฟ และอื่น ๆ อย่างไม่รู้ตัวก็ยังมีระบบสื่อสารชนิดใหม่รวมทั้งคลื่นแสงที่ได้รับการพัฒนาจากห้องปฏิบัติการ และได้มีการนำมาใช้กันอย่างกว้างขวาง แต่ "การสื่อสารทางแสง" คืออะไร ?

การพยายามตอบคำถามสำหรับบุคคลที่ยังไม่เคยมีความรู้เกี่ยวกับเรื่องนี้มาก่อน จะต้องกระทำดังต่อไปนี้

ในรอบหลายปีที่ผ่านมา การพัฒนาการสื่อสารทางไฟฟ้าได้ดำเนินรุดหน้าไปอย่างรวดเร็ว ปัจจุบันเป็นสิ่งธรรมดาที่พบเห็นกันได้ทั่วไป เช่น การแข่งขันกีฬาโอลิมปิกที่ทำการถ่ายทอดทางโทรทัศน์ โดยการส่งผ่านดาวเทียม นั่นคือมันจะปรากฏภาพทันที แม้ว่าเหตุการณ์นั้นจะได้จัดขึ้นที่อีกซีกหนึ่งของโลกก็ตาม

ในอนาคตชีวิตประจำวันสำหรับครอบครัวจะขึ้นอยู่กับโทรทัศน์มากขึ้น เช่น บริการทางการแพทย์ และข่าวสารการศึกษา โทรสารสำหรับการส่งจดหมายและหนังสือพิมพ์ ผลที่ได้รับคือ การประหยัดเวลาและทรัพยากรทางธรรมชาติเป็นอันมาก ถึงแม้ว่าการส่งข่าวสารและโทรทัศน์ ภาพ อาจจะจัดหาได้ง่าย เพื่อที่จะให้มีบริการในสิ่งเหล่านี้ การส่งจะต้องมีประสิทธิภาพเป็นหลายร้อยเท่าของระบบที่มีอยู่

ในปัจจุบัน
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการส่งข่าวสารที่มีจำนวนมาก ๆ มันเป็นผลสืบเนื่องมาจากหลักการสื่อสารอย่างง่าย ๆ คือ คลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เป็นคลื่นนาฬิกานั้นจำเป็นต้องใช้ความถี่สูงมาก การพัฒนาวิธีการเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการทำงานในย่านความถี่ใหม่ที่สูงขึ้น ซึ่งเป็นเป้าหมายหลักของวิศวกรรมการสื่อสารและนักวิจัย

ในปี พ.ศ. 2503 ได้มีการประดิษฐ์เลเซอร์ (แหล่งกำเนิดแสง) ที่สามารถให้กำเนิดแสงธรรมชาติขึ้น (เช่นมีสีเดียว) แหล่งกำเนิดแสงจะมีความถี่สูงกว่า $10^4 - 10^5$ เท่าของแหล่งกำเนิดความถี่ไมโครเวฟ (ความถี่ 10^{10} Hz) ที่มีอยู่เดิม ตั้งแต่ได้มีการปรากฏตัวของเลเซอร์ ได้มีความพยายามอยู่หลายครั้งที่จะใช้เลเซอร์สำหรับการสื่อสาร เพราะว่ามันมีข้อดีอยู่หลายประการ ถ้านำมันมาใช้เป็นคลื่นพาหะของระบบการสื่อสารได้ เช่น มันจะกำเนิดแสงสีเดียวได้ดีที่สุดและมีลำแสงที่ปรับให้แคบที่สุดได้ ตามหลักการแล้วจะมีแบนด์วิดธ์กว้างมาก

เริ่มแรกการทำงานของระบบการสื่อสารที่ความถี่แสง ถึงแม้ว่าจะเพิ่มประสิทธิภาพการส่งข่าวสารได้มากถึง 100,000 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่มีใช้กันอยู่ อย่างไรก็ตามก่อนที่จะนำมาใช้งานในทางปฏิบัติก็ยังมีปัญหาอีกหลายอย่างที่จะต้องนำไปแก้ไข เช่น เลเซอร์ต้องมีประสิทธิภาพและขนาดต้องเล็ก, ซึ่งสามารถรักษาคุณภาพให้อยู่ในระดับสูงตลอดไป ต้องมีการควบคุมทางเอาท์พุท, อุปกรณ์มอดูเลชันและดีมอดูเลชันที่ความเร็วสูงยังไม่ได้ผลตามที่ต้องการทั้งหมดนี้มีความสำคัญมากที่สุด สิ่งที่ต้องการสำหรับสายรับ-ส่งชนิดใหม่ คือ ต้องมีการสูญเสียต่ำ และ ที่ยึดหยุ่นได้, ประหยัด, และมีแบนด์วิดธ์กว้าง ปรากฏว่าในตอนแรกนั้นปัญหาเหล่านี้เอาชนะได้ยากมาก

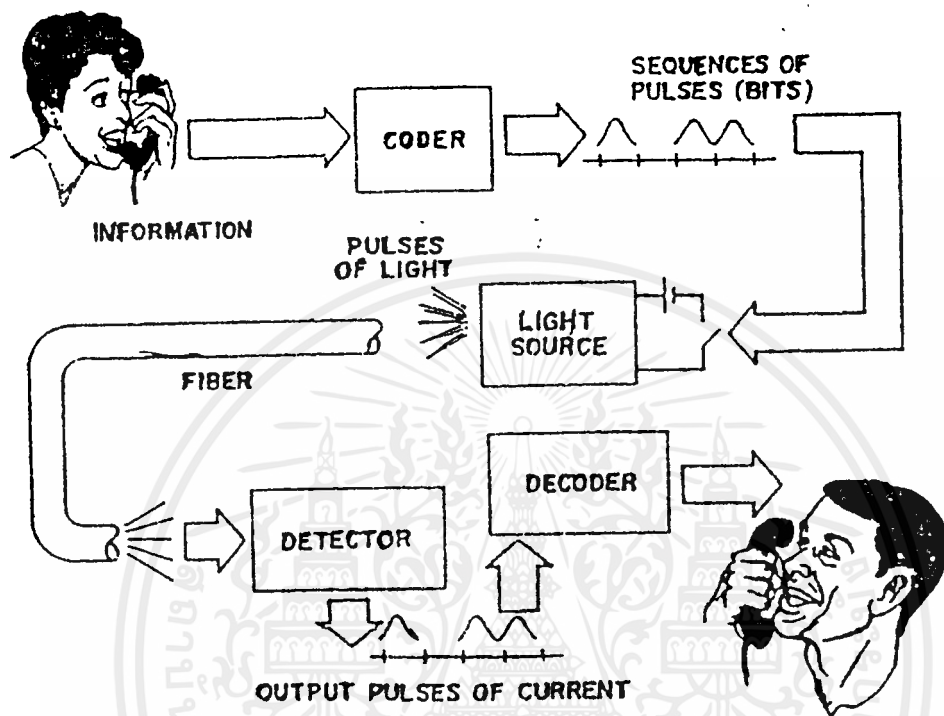
ประมาณปี พ.ศ. 2509 ได้มีการพิจารณาถึงความเหมาะสมที่จะนำเส้นใยแก้วนำแสงมาใช้เป็นสายรับ-ส่งอย่างจริงจัง แต่ในเวลานั้นการสูญเสียยังสูงอยู่ จึงยังไม่ได้นำมาใช้

ในปี พ.ศ. 2513 ได้พบวิธีการที่จะลดการสูญเสียลงได้เป็นจำนวนมากและการทำงานของเลเซอร์สารกึ่งตัวนำสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิห้อง เนื่องจากอายุการใช้งานของเลเซอร์สามารถเพิ่มได้มากขึ้น และสามารถผลิตเส้นใยแสงให้มีการสูญเสียต่ำได้ ทำให้การสื่อสารด้วยใยแสงได้รับการยอมรับในทางปฏิบัติ

เรายังคงเพิ่งเริ่มต้นในยุคของการสื่อสารทางแสง แต่ขณะนี้มีความเป็นไปได้อย่างมากว่าหน่อเล็ก ๆ นี้จะเติบโตเป็นต้นไม้ขนาดใหญ่ในอนาคตอันใกล้

อีกประการหนึ่งความถี่ของแสงอุลตราไวโอเล็ต และรังสีเอ็กซ์-เรย์ สูงกว่า Optical Ray มาก และมีความเหมือนกันคือ การรวมตัวของโฟตอนทำให้พลังงานเพิ่มขึ้นผลที่ตามมาคือ Quantum Noise สูงมาก และการเชื่อมตักกับสายรับ-ส่งและรีเฟลคเตอร์ทำได้ยากมาก ในหลักการแล้วความถี่เหล่านี้ไม่เหมาะที่จะใช้ส่งข้อมูล เพราะฉะนั้นคลื่นแสงที่มองเห็นได้อาจเป็นประเภทสุดท้ายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่จะนำมาใช้กับระบบโทรคมนาคมได้ เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในหลักสูตรนี้ ระบบการสื่อสารทางแสงส่วนใหญ่จะใช้เส้นใยแสง และใช้สารกึ่งตัวนำเป็นแหล่งกำเนิดแสง ในรูปที่ 1. ที่จะกล่าวถึงเป็นระบบทั่ว ๆ ไป



รูปที่ 1. ระบบการสื่อสารทางแสงเบื้องต้น

ในรูปแบบของการสื่อสารทางแสงนั้น ในขั้นแรกสัญญาณ (เสียงคำพูด) ที่ผู้ใช้ต้องการจะส่ง จะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าในเครื่องส่งซึ่งมันจะถูกมอดูเลทกับความเข้มของแสงที่แหล่งกำเนิดแสง ซึ่งอาจจะเป็นเลเซอร์หรือไดโอดเปล่งแสง (วิธีการนี้เรียกว่า มอดูเลชัน)

สัญญาณแสงถูกส่งผ่านเข้าไปในทางเดินของแสงในเส้นใยแสง และถูกตรวจรับที่ปลายทางด้วยตัวรับด้วยโฟโตดีเทคเตอร์ ซึ่งสัญญาณแสงจะถูกเปลี่ยนกลับเป็นสัญญาณไฟฟ้าตามเดิม (คลื่นเสียง)

หลายศตวรรษมาแล้วที่มนุษย์รู้จักใช้การสื่อสารด้วยแสง เช่น คบเพลิง, สัญญาณไฟ และโดยการสะท้อนของแสงด้วยกระจก จนกระทั่งปัจจุบันสัญญาณแสงก็ยังคงมีใช้อยู่ เช่น การสื่อสารระหว่างเรือ โดยใช้ส่งสัญญาณแสงด้วยรหัสมอส

การพัฒนาอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ให้ทำงานเป็นแหล่งกำเนิดแสง โดยอาศัยข้อมูลการวิจัยในยุโรป และอเมริกา เป้าหมายของการพัฒนาของหลอดคายประจุและหลอดไฟฟ้าหรือปรากฏการณ์ของแสงที่เปล่งออกมานั้นเป็นเอกสารที่ลงนามในชื่อของนักวิทยาศาสตร์ที่มีชื่อเสียงในสาขาฟิสิกส์และเคมี อย่างไรก็ตามแม้ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกมาจากแท่งเรืองแสง โดยเฉพาะการเปล่งแสงที่ได้โดยการให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านจุดเชื่อมต่อของสารกึ่งตัวนำ ในผลึกเชิงเดี่ยวของสารกึ่งตัวนำ เช่น แกลเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs) การเปล่งแสงสูง กว่ามาก เพราะฉะนั้นจึงได้มีการพัฒนาวิธีการผลิตสารกึ่งตัวนำ ให้เหมาะสมที่จัดให้เป็นแหล่งกำเนิดแสง

ในอดีตแนวความคิดของการส่งสัญญาณแสง ในสมัยกรีกโบราณ ซึ่งเทคโนโลยีของการผลิต แก้วได้เริ่มขึ้น ได้สังเกตเห็นว่าแสงสามารถผ่านแท่งแก้วได้ ในทำนองเดียวกันในประเทศอังกฤษ ซึ่งมีความรู้เกี่ยวกับแสงรุ่งเรืองมาก ในศตวรรษที่ 19 ได้สังเกตแสงที่ส่งผ่านท่อน้ำที่มีรูแคบมาก การทดลอง เรื่องการส่งแสงผ่านเส้นใยแก้วได้กระทำเป็นครั้งแรกที่ประเทศเยอรมันนี ในปี พ.ศ. 2473

ในปี พ.ศ. 2501 ประเทศอังกฤษได้เสนอแนะรูปร่างของเส้นใย ซึ่งประกอบด้วยส่วนในสุดเป็นแก้วแล้วหุ้มด้วยส่วนประกอบของแก้วที่คล้ายกัน ในตอนต้นปี พ.ศ. 2503 ที่ประเทศญี่ปุ่นได้ประดิษฐ์เส้นใยแก้วขึ้นมา เพื่อวัตถุประสงค์ของการส่ง Optical Pictures แต่การส่งมีการสูญเสียของแสงสูงมาก เพราะว่าความเข้มข้นของแสงที่ส่งผ่านเส้นใยที่ความยาวไม่ถึง 1 เมตรได้ลดลงเป็นจำนวนมาก เพราะฉะนั้นการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยก็ถูกทิ้งไว้

ประมาณปี พ.ศ. 2503 ประเทศสหรัฐอเมริกาได้กระทำการทดลองที่เกี่ยวกับสายส่งประเภทต่าง ๆ โดยการใช้รูปแบบของ Optical Waveguide ที่ต่างกัน และประกอบด้วย เลขชี้ที่รวมแสงเข้าหากันตรงจุดที่แสงอ่อนลงเป็นช่วง ๆ เรียงกันไปตามลำดับรูปแบบหนึ่งของระบบนำแสงประกอบด้วย เลขชี้ 10 ชุด แต่ละจุดรวมแสงยาว 50 เมตร และระยะห่างเป็นช่วง ๆ ละ 100 เมตร ภายในท่อขยายให้ยาวได้ถึง 1 กิโลเมตร แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในตอนแรกก็คือ หลอดซินอน

ในปี พ.ศ. 2503 เป็นช่วงเวลาเดียวกันที่สหรัฐได้ทำการวิจัยอย่างคร่ำเคร่ง ผลที่ได้รับเป็นความสำเร็จครั้งแรกคือการทำงานของ โชลิต-เสตท รูบี้ เลเซอร์, อีเลียม/นีออนก๊าซ เลเซอร์ ในปี พ.ศ. 2504 และสารกึ่งตัวนำ เลเซอร์ แกลเลียมอาร์เซไนด์ ในปีพ.ศ. 2505 โดยทั่วไปได้เข้าใจว่า สิ่งที่ปรากฏขึ้นของสิ่งใหม่ ๆ เหล่านี้ และแหล่งกำเนิดแสงที่มีความยาวคลื่นเดียว ถือว่าเป็นมิตรที่ดีของการสื่อสารทางแสงที่จะให้ระบบของการสื่อสารที่มีคุณภาพระดับสูง หลังจากที่ได้มีการวิจัยกันอย่างต่อเนื่องของคุณสมบัติที่เป็นไปได้ของแหล่งกำเนิดแสง เฟบริ-เพรอต (Fabry-perot Resonator) ซึ่งคลื่นถูกจำกัดอยู่ระหว่างกระจก 2 แผ่น ผลที่ได้รับคือหลักฐานทางทฤษฎีได้เป็นที่ยอมรับกันในหลักการของการส่งลำแสงที่คงที่จากแหล่งกำเนิดเลเซอร์ผ่านอวกาศ

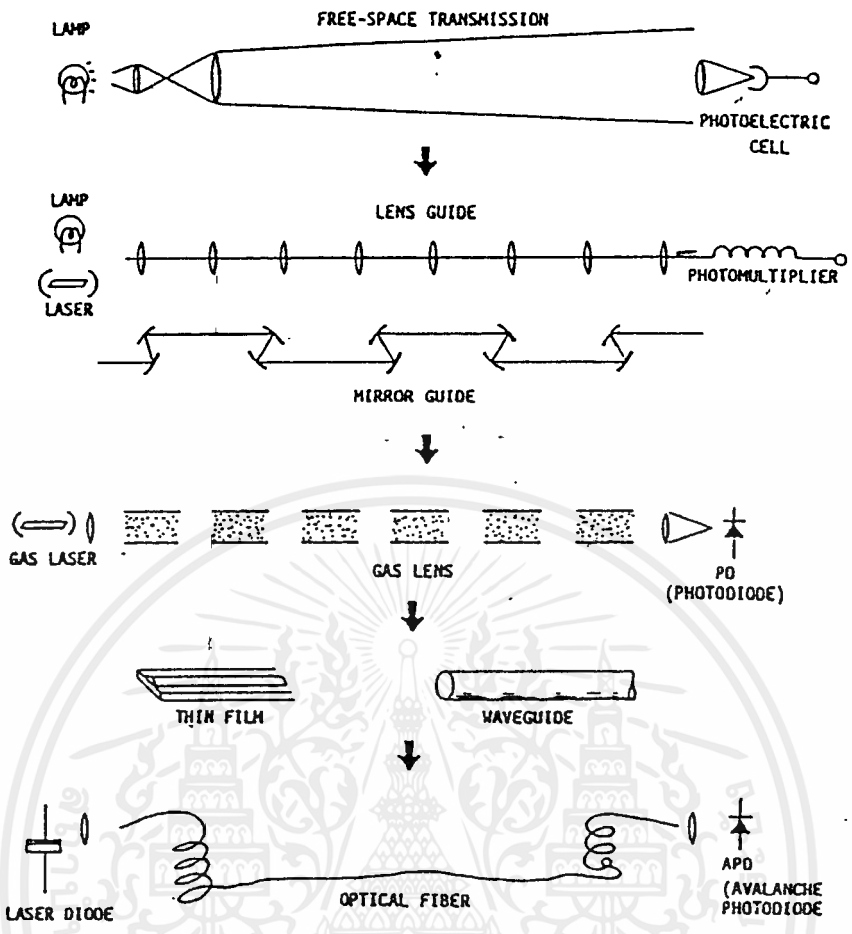
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปี พ.ศ. 2507-2508 ได้มีการเสนอให้ใช้ก๊าซเลนซ์เป็นตัวนำแสง และในเวลาเดียวกันก็ได้มีการนำมาทดสอบ อุปกรณ์นี้คือก๊าซเลนซ์ ที่มีการสูญเสียต่ำเนื่องจากดัชนีหักเหของแสงลดลงจากแกนกลางของเส้นใย ดังนั้น ลำแสงจะถูกจำกัดให้อยู่ใกล้กับแกนกลาง ในเวลาเดียวกัน หลักการทางคณิตศาสตร์ของทางเดินของแสงที่เคลื่อนที่ไปเรียกว่า Lenslike-medium ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันทั่วไป เนื่องจากเป็นระบบที่ต้องการเพาเวอร์เป็นจำนวนมากที่จะทำให้เกิด Refractive-index Profile ในปริมาณของก๊าซจำนวนมาก และเหตุผลอื่นๆ อีก ความคิดที่จะใช้ก๊าซเลนซ์มาเป็นทางเดินของแสงก็หยุดชะงักลง ถึงแม้จะได้รับผลประโยชน์หลายอย่างในเวลาเดียวกันก็ตาม รวมทั้งความเชื่อว่าคลื่นแสงถูกจำกัดให้อยู่ใกล้กับแกนกลาง ข้อคิดเห็นที่ว่าดัชนีที่แผ่กระจายในรูปของพาราโบลิกในเส้นใยจะชดเชยกลุ่มความเร็วของโหมดที่เคลื่อนที่ในชั้นต่างๆ และวิธีที่จะใช้คำนวณเกี่ยวกับทางเดินของแสง

อีกประการหนึ่งในปี พ.ศ. 2509 ได้มีการประยุกต์ใช้เลเซอร์กับการสื่อสารทางแสง ทำให้เกิดการสนใจทั้งในอเมริกาและญี่ปุ่น และทราบว่าวิธีการมอดูเลชันที่ความถี่สูงมากนั้นมีความเป็นไปได้ เช่นเดียวกับความคิดที่จะนำเส้นใยแก้วนำแสงมาเป็นสายรับ-ส่ง ได้เริ่มต้นอีกครั้งทั้งในประเทศอังกฤษและญี่ปุ่น และความพยายามที่จะลดการสูญเสียจากการส่งให้ต่ำลง และการวิจัยเรื่องที่เกี่ยวข้องกับแบนด์วิดท์ก็ได้เริ่มขึ้น

ประมาณปี พ.ศ. 2513 ผลจากการวิจัยทั้งสองอย่างมีความสำคัญอย่างมากต่อการสื่อสารทางแสง อย่างแรกคือการทำงานอย่างต่อเนื่องของเลเซอร์ที่อุณหภูมิห้องในอเมริกา ต่อไปก็คือการปรับปรุงเรื่องอายุการใช้งานทั้งในอเมริกาและญี่ปุ่น อีกอย่างก็คือการลดลงอย่างมากของการสูญเสียจากการส่ง จากที่อังกฤษทำไว้ระหว่าง 150 เดซิเบลต่อกิโลเมตร ได้ลดลงเหลือประมาณ 20 เดซิเบลต่อกิโลเมตร ทั้งในอเมริกาและญี่ปุ่น เมื่อไม่นานมานี้ได้มีการพัฒนาเกี่ยวกับอุปกรณ์ทางแสงและสายรับ-ส่งเส้นใยแสงเป็นหลัก ปัจจุบันนี้ในทางปฏิบัติได้พิสูจน์ให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้อย่างมากที่จะนำการสื่อสารทางแสงมาใช้กันอย่างกว้างขวางขึ้น สายรับ-ส่งเส้นใยแสงได้มีการปรับปรุงกันอย่างรวดเร็ว บางส่วนได้นำวิธีการผลิตสารกึ่งตัวนำมาใช้ ซึ่งได้มีการพัฒนาอย่างดีแล้วซึ่งให้ทั้งการสูญเสียต่ำและมีแบนด์วิดท์กว้างกว่าสายรับ-ส่งอย่างอื่นๆ

ได้มีข้อเสนอแนะที่แตกต่างกันหลายประการที่ใช้กับการส่งสำหรับการสื่อสารทางแสง เพราะว่าบางวิธีอาจจะใช้บางโอกาสในอนาคต ซึ่งเราจะได้ศึกษากันอย่างย่อๆ และเปรียบเทียบกับวิธีเหล่านั้นกับเส้นใยแสง รูปที่ 2. ข้างล่างนี้แสดงให้เห็นถึงวิธีการพัฒนาของการสื่อสารทางแสง เริ่มต้นด้วยการเดินทางของลำแสงจากหลอดไฟแสงสว่างผ่านไปสู่อากาศ การนำทางของแสงจากเลเซอร์ไดโอดไปตามเส้นใยแสง



รูปที่ 2. การพัฒนาของการสื่อสารทางแสง

การเดินทางเป็นเส้นตรงของลำแสงเลเซอร์ผ่านชั้นบรรยากาศ

ลำแสงเลเซอร์ที่แผ่กระจายในอากาศมีทิศทางที่แน่นอนมาก ดังนั้น มันจึงถูกส่งไปได้เป็นระยะทางไกลๆ ตอนนี้ให้มาพิจารณาถึงสิ่งที่เรียกว่า Gaussian คลื่นลำแสงที่มีความเข้มของแสงที่แผ่กระจายออกไป $I(r)$ ตามขวางกำหนดจาก

$$I(r) = I(0) \exp(-r^2/w^2_0)$$

ซึ่ง r คือระยะทางจากแกนลำแสง และ w_0 คือค่าคงที่ เรียกว่า Spot Size ของ Gaussian Beam และตรงกับรัศมีที่ความเข้มของแสงลดลงที่ $1/e$ ($e = 2.718$) ของค่ายอดของมัน * (* บางครั้ง Spot Size กำหนดจากรัศมีของลำแสง w' ซึ่งเป็นขอบเขตของแอมพลิจูด และไม่ใช้ความเข้มของลำแสงต่างจาก $1/e$ ของค่ายอด ในกรณีนี้ $w' = 2w_0$) ความกว้างของมุมที่แผ่ออกของลำแสง $\Delta\theta$ กำหนดจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นผ่านศูนย์กลาง D ของลำแสงที่จุดใด ๆ ขึ้นอยู่กับ $\Delta\theta$ จะเห็นได้ว่า $\Delta\theta$ มีมุมที่แคบมาก เมื่อ Spot Size W_0 เพิ่มขึ้นที่จุดแผ่กระจายจากศูนย์กลาง และ มีความยาวคลื่นสั้นมากด้วยเหมือนกัน

เช่น ตัวอย่างที่ความยาวคลื่น = 0.63 และ 10.6 ไมโครเมตร กับ $W_0 = 1$ มิลลิเมตร $\Delta\theta$ คือ $0.006^\circ = 10^{-4}$ rad และ $0.01^\circ = 1.7 * 10^{-3}$ rad ตามลำดับ ซึ่งเป็นมุมที่แคบมาก เนื่องจากมุมเหล่านี้แคบ หลังจากที่มันเดินทางไปได้ระยะทาง 1 กิโลเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของลำแสงที่กระจายออกไปมีขนาดเพียง 10 เซนติเมตร และ 1.7 เมตร ตามลำดับ ในอวกาศภายนอกชั้นบรรยากาศของโลกลำแสงที่มีมุมแคบนี้ทำให้มันเดินทางไปได้ระยะทางไกลมาก

ภายในชั้นบรรยากาศของโลก การสูญเสียที่เกิดจากการดูดซึมขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นแสงจึงจำเป็นต้องเลือกใช้ความยาวคลื่นแสงที่มีการดูดซึมต่ำ ตรงกับที่เรียกชั้นบรรยากาศนี้ว่า "Window" นอกจากนั้นในสายฝน หรือภาวะของอากาศที่เกิดเป็นหมอกลำแสงของแสง จะถูกดูดซึมมากและทำให้แสงเกิดการละลาย และมีการสูญเสียมากกว่า 20-30 เดซิเบลต่อกิโลเมตรในสภาพการณ์ที่เลว ถึงแม้ว่าอากาศจะดีและไม่มีการผสม ลำแสงก็เคลื่อนที่อย่างไม่มีการหักเห เนื่องจาก "ปรากฏการณ์ภาพลวงตา" (Mirage Phenomenon) ซึ่งเป็นสาเหตุจากอุณหภูมิและดัชนีหักเหลดลง และทำให้ลำแสงไม่คงที่เช่นเดียวกัน ถ้าเส้นทางด้านส่งและด้านรับเกิดการสั่น จะทำให้เฟาเวอร์ที่ได้รับเกิดการผันแปรอย่างมาก เนื่องจากผลที่เกิดขึ้นเหล่านี้ เช่น ไม่มีการป้องกันลำแสงขณะที่กำลังเดินทางไปชั้นบรรยากาศ ฉะนั้นมันจึงไม่เหมาะที่จะใช้ส่งในระยะทางไกลได้ อย่างไรก็ตาม สำหรับระยะทางใกล้ ๆ ที่มีระยะทางไม่กี่สิบลเมตร วิธีการสื่อสารแบบง่าย ๆ นี้ก็เชื่อถือได้ และยังสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อีกในหลายเรื่องด้วยกัน

วิธีการที่เกี่ยวข้องกับ Lens Waveguide

ได้เคยกล่าวมาแล้วว่าระบบ Waveguide ซึ่งลำแสงจะถูกนำทางโดยเลนส์หรือจากกระจกที่วางอยู่ภายในท่อที่ได้มีการทดสอบไปแล้ว วิธีนี้สามารถส่งลำแสงที่มีขนาดเล็กได้ตลอด โดยการโฟกัสมันเป็นช่วง ๆ และป้องกันไม่ให้ถูกรบกวนจากสภาพอากาศภายนอก

สำหรับเลนส์ที่ใช้เป็นตัวนำแสงเป็นเลนส์บาง ๆ (Thin Lense) ระยะศูนย์กลางจากเลนส์ไปยังจุดรวมแสง (Focal length) F , และระยะห่าง $2L$, ขนาดจุดรวมแสง W ที่อยู่ในระนาบเดียวกับเลนส์จะมีขนาดเล็กที่สุดที่ตำแหน่ง $f = L$ จาก

$$W = \sqrt{L}$$

เช่น ตัวอย่าง $W = 3.2$ มิลลิเมตร สำหรับ $2L = 100$ เมตร และ $\lambda = 0.63$ ไมโครเมตร เพราะฉะนั้นเพื่อความเหมาะสมสำหรับเลนส์แต่ละชุด ซึ่งเป็นจุดรวมแสงยอมให้ตำแหน่งของเลนส์นี้แปรผันได้เล็กน้อย เส้นผ่านศูนย์กลางของเลนส์ต้องมีขนาดหลายเซนติเมตร ถ้าใช้เลนส์เคลือบน้ำยาเพื่อป้องกันการสะท้อน จะทำให้ได้ค่าการสูญเสียในสายส่ง (Transmission loss) ต่ำประมาณ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

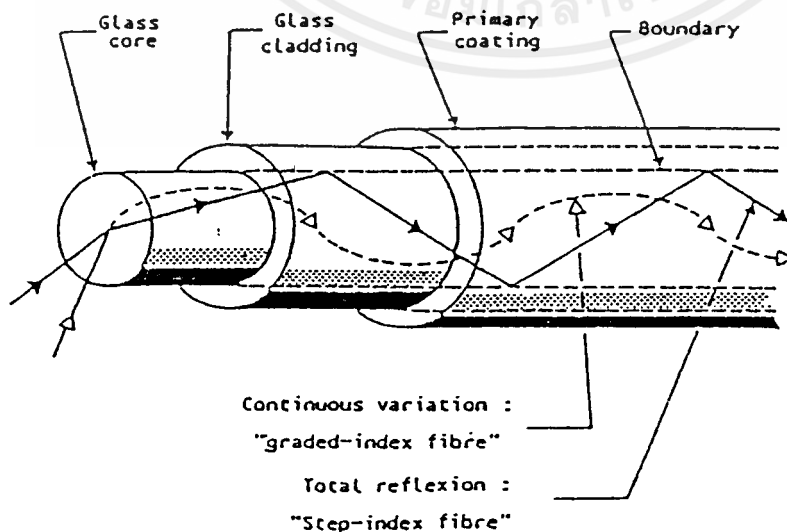
0.5 dB/km

อย่างไรก็ตามในระบบ Waveguide นี้ตำแหน่งของเลนส์อาจคลาดเคลื่อนได้เล็กน้อยเนื่องจากการสั่นสะเทือนของแผ่นดิน รวมทั้งแผ่นดินไหวและอื่นๆ ในทำนองนั้น ดังนั้น ขีดขั้วทางโครงสร้างจะลดลง ทำให้ลำแสงไม่ตรงตัว เช่นเดียวกัน ถ้าอุณหภูมิที่มีอยู่ระหว่างตอนต้นและตอนปลายของท่อแตกต่างกัน จะเป็นเหตุให้ลำแสงเกิดการเบี่ยงเบน เนื่องมาจากอากาศภายในท่อทำให้เกิดปริมาตรขึ้น เพราะฉะนั้นส่วนปลายของท่อต้องมีลมวนมาปิดหรือต้องขจัดอากาศออกไป จากเหตุผลเหล่านี้และอื่น ๆ อีกจะไม่ใช้เลนส์เป็นตัวนำแสง หรือพูดโดยทั่วไปว่าไม่เหมาะสมที่ใช้เป็นสาย-รับส่ง อีกประการหนึ่ง ถ้าโครงสร้างมีการปรับแต่งโดยอัตโนมัติรวมกันเข้าเป็นระบบก็สามารถใช้มันเป็นเครื่องตรวจสอบการสั่นสะเทือนของแผ่นดินได้ ซึ่งก็เป็นการใช้งานอีกวิธีหนึ่งของระบบนี้

-การสื่อสารด้วยเส้นใยแสง

-สายรับ-ส่งเส้นใยแสง

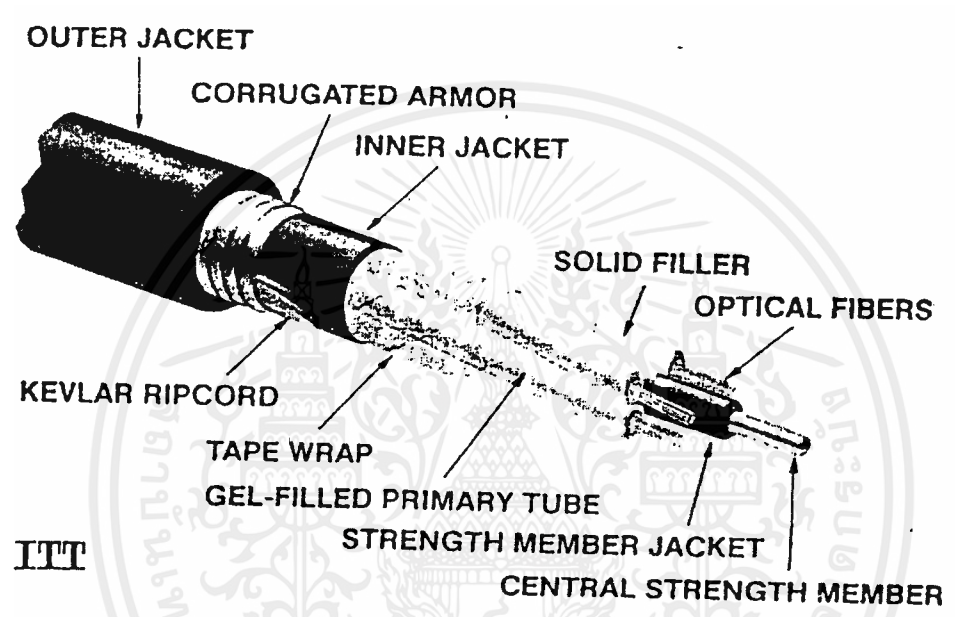
โครงสร้างของสายรับ-ส่งเส้นใยแสง ประกอบด้วยส่วนตรงกลางที่เรียกว่า Core มีดัชนีหักเหของแสง n_1 หุ้มรอบด้วยวัสดุที่เรียกว่า Cladding มีดัชนีหักเหของแสง n_2 ต่ำกว่า n_1 ดังนั้น คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะถูกจำกัดอยู่ในส่วนของ Core และ Cladding ที่อยู่ภายในทั้งหมด เส้นใยแสงเป็นรูปแบบของ Dielectric Waveguide ซึ่งเป็นชนิดซิลิกาแก้วและมัดติคอมโพเนนที่แก้ว ปกติใช้เป็นส่วนประกอบของฉนวนไฟฟ้า ในบางกรณีอาจใช้สารพลาสติกหรือของเหลวก็สามารถนำมาเป็นส่วนประกอบอย่างหนึ่งของสารประกอบวัสดุอื่น ๆ ที่สามารถนำมาใช้ได้ เช่น แก้ว , พลาสติก , หรือสารกึ่งตัวนำ



เอกสารรูปที่ 3. เส้นใยแสงชนิด มัดติใหม่ค เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เส้นผ่านศูนย์กลางของ Core ของเส้นใยแสง ปกติจะอยู่ในย่าน 2-3 ไมโครเมตร ถึง 20-30 ไมโครเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางรอบนอกของ Cladding อยู่ระหว่าง 100-200 ไมโครเมตร อย่างไรก็ตามเส้นใยแสงที่ยังไม่ได้หุ้มมีความเปราะมาก และเป็นเหตุเริ่มต้นให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีจากความชื้น ดังนั้น เส้นใยจึงถูกกำหนดให้มีการหุ้มครั้งแรกเสียขั้นหนึ่งก่อนด้วยพลาสติก ต่อไปหุ้มทับด้วยในล่อนอีกชั้นหนึ่ง ยิ่งกว่านั้นยังจัดเป็นกลุ่มรวมเข้าด้วยกันในรูปเคเบิลใยแสง ซึ่งทำให้เคเบิลมีเส้นใยแสงเป็นร้อยเส้นได้



รูปที่ 4. เคเบิลเส้นใยแสงชนิด 24 เส้นใย

ปัจจุบัน ซิลิกาแก้วเป็นส่วนประกอบที่ให้การสูญเสียต่ำมาก โดยการทำให้ซิลิกาแก้วมีความบริสุทธิ์มากขึ้น ทำให้สามารถผลิตเส้นใยแสงที่มีการลดทอนประมาณ 0.2 เดซิเบลต่อกิโลเมตร ที่ความยาวคลื่น 1.55 ไมโครเมตรได้ ประกอบมีแบนด์วิดท์กว้างและการสูญเสียต่ำ จึงเชื่อได้ว่าเส้นใยแสงจะเป็นสายรับ-ส่งที่เหมาะสมที่สุด

ในตอนนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดที่เกี่ยวกับความยาวคลื่น 0.85 ไมโครเมตร ที่ให้การสูญเสียต่ำ ซึ่งเป็นข้อกำหนดอย่างหนึ่งที่เรียกว่า "Optical Fibre Windows" บังเอิญสารกึ่งตัวนำเลเซอร์ที่ประกอบด้วยแกลเลียม อะลูมิเนียม อาร์เซไนด์ (GaAlAs) และซิลิคอน (Si) โฟโตดีเทคเตอร์มีความไวสูง ที่ความยาวคลื่นนี้ ในทางตรงกันข้ามเส้นใยมีความสูญเสียต่ำมากจะอยู่ย่านความยาวคลื่น 1.0-1.6 ไมโครเมตร การวิจัยที่เกี่ยวกับเลเซอร์และตัวรับแสงความไวสูงที่กำลังทำกันอยู่ในปัจจุบันและอนาคตถือเป็นกุญแจสำคัญที่ต้องพัฒนาต่อไปในการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดีของการสื่อสารด้วยเส้นใยแสงคืออะไร

การส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยแสงมีข้อดีเหนือกว่าระบบ Optical Waveguide อื่น ๆ ทั้งหมด และมีคุณสมบัติ ดังต่อไปนี้

1. มีการสูญเสียต่ำตลอดย่านความยาวคลื่นที่ใช้งาน (น้อยกว่า 1 เดซิเบลต่อกิโลเมตร)
2. มีแบนด์วิธกว้าง (1-10 GHz, สำหรับ Multimode และ Single-mode Fibre ตลอดความยาว 1 กิโลเมตร ตามลำดับ)
3. มีความยืดหยุ่น
4. ขนาดเล็ก (เส้นใยแก้วมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 100 ไมโครเมตร และเส้นผ่าศูนย์กลางทั้งหมด ซึ่งรวมทั้งที่หุ้มด้วยพลาสติก ประมาณ 1-2 มิลลิเมตร)
5. น้ำหนักเบา
6. ไม่มีสิ่งรบกวนจากแม่เหล็กไฟฟ้า
7. Crosstalk ต่ำ และมีมาตรการการป้องกันสูง
8. ส่วนประกอบของแก้วที่ใช้เป็นวัตถุดิบธรรมชาติมีเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะความเข้มข้นของซิลิกามีสูงมาก
9. มีความต้านทานต่อการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี และการเปลี่ยนแปลงทางอุณหภูมิสูงมาก

เนื่องจากเส้นใยแสงมีข้อดีเหล่านี้ จึงมีความพยายามที่จะปรับปรุงคุณสมบัติที่ได้กล่าวไปแล้วอย่างต่อเนืองต่อไป โดยเฉพาะการวิจัยที่จะดำเนินการตามทิศทางต่อไปนี้

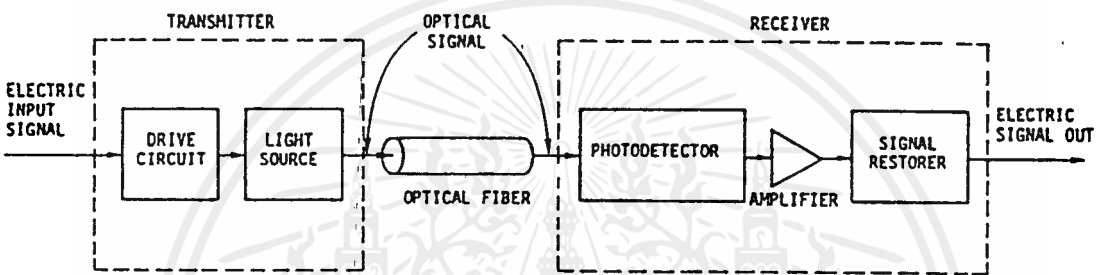
1. อะไรคือลักษณะรูปร่างที่ดีที่สุดของดัชนีหักเหของแสง นำเอาปัจจัยทั้งหมดมาพิจารณา
2. อะไรคือการทำที่ให้ได้การสูญเสียต่ำที่สุด
3. ความยาวคลื่นที่เหมาะสมที่สุดของการทำงาน อยู่ทางด้านไหน
4. อะไรเป็นส่วนสำคัญที่กำหนดแบนด์วิดธ์
5. สาเหตุใดที่ทำให้คุณลักษณะของการเดินทางเปลี่ยนไป โดย Mechanical Effects เช่น การโค้งงออย่างนั้นหรือ
6. อายุการใช้งานจะเป็นสาเหตุให้คุณลักษณะ เปลี่ยนไปหรือไม่
7. ปัญหาทางเทคนิคของการวางและการต่อเคเบิลสามารถแก้ไขปรับปรุงได้หรือไม่
8. ต้นทุนที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ลดลงโดยการผลิตเป็นจำนวนมาก ๆ ได้หรือไม่

อุปกรณ์การเชื่อมโยงการส่งผ่านเส้นใยแสง

ในการเชื่อมโยงการส่งผ่านเส้นใยแสง ส่วนสำคัญต่าง ๆ คือ เครื่องส่งที่ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสงและร่วมกับวงจรกระตุ้น (Drive Circuit) เคเบิลเส้นใยแสง และเครื่องรับที่ประกอบด้วยโฟโตดีเท็คเตอร์ ร่วมกับวงจรขยายสัญญาณ และวงจรที่ทำให้สัญญาณและวงจรที่ทำให้สัญญาณกลับ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คืนสู่สภาพเดิม

เคเบิลใยแสงเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญมากอย่างหนึ่งในการเชื่อมต่อเส้นใยแสง นอกจากจะได้มีการป้องกันเส้นใยแก้วระหว่างในการติดตั้งและการให้บริการ ภายในเคเบิลอาจจะมีบรรจุสายทองแดงสำหรับเพาเวอร์ที่จะจ่ายให้กับส่วนทวนสัญญาณ ซึ่งต้องการสำหรับการขยายสัญญาณและการสร้างสัญญาณขึ้นมาใหม่เป็นช่วงๆ เมื่อต้องการขยายระยะทางให้ไกลออกไปอีก เคเบิลโดยทั่วไปแล้วประกอบด้วยเส้นใยแก้วรูปทรงกระบอกที่มีขนาดเท่าเส้นผมเป็นจำนวนมาก แต่ละเส้นไม่ขึ้นอยู่กับจำนวนวงจรของการสื่อสาร



รูปที่ 5. อุปกรณ์หลัก การเชื่อมโยงส่งผ่านเส้นใยแสง

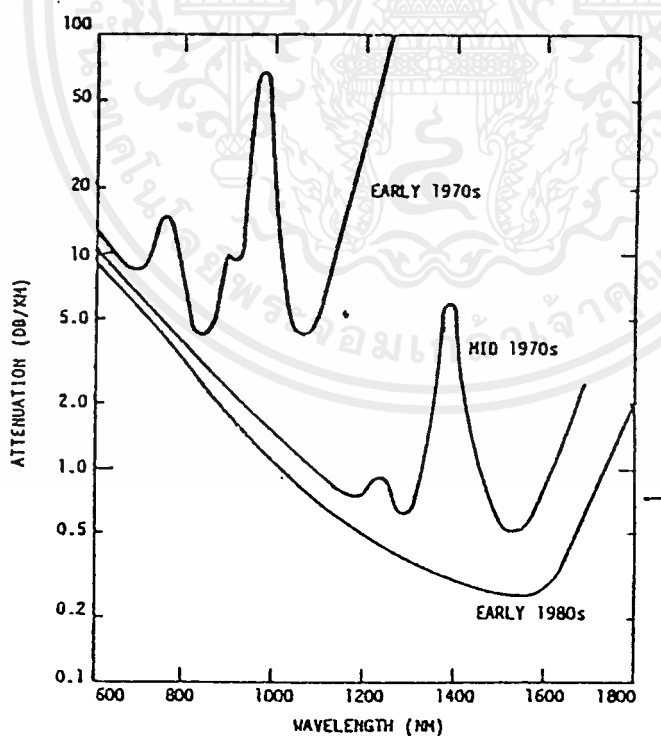
การติดตั้งเคเบิลใยแสงสามารถติดตั้งได้ทั้งในอากาศ, ในท่อร้อยสาย, ใต้ทะเล หรือฝังดินโดยตรง ทำนองเดียวกันกับเคเบิลทองแดง ความยาวของเคเบิลแต่ละเส้นจะมีความยาวตั้งแต่หลายร้อยเมตรจนถึงหลายกิโลเมตรสำหรับการใช้งานทางไกล ขึ้นอยู่กับการติดตั้งและหรือข้อจำกัดของการผลิต ความยาวจริง ๆ ของเคเบิลในช่วงหนึ่ง ๆ กำหนดจากการพิจารณาในทางใช้งานเช่นขนาดของระวิงและน้ำหนักของเคเบิล ถ้าการวางเคเบิลผ่านท่อร้อยสาย มักจะใช้เคเบิลที่มีความยาวสั้นกว่า ส่วนเคเบิลที่มีความยาวมาก ๆ มักจะใช้แขวนในอากาศหรือฝังดินโดยตรง ถ้าจะให้ได้ความยาวที่จะใช้งานกับทางไกลจริง ๆ นั้นต้องนำเคเบิลแต่ละช่วงความยาวมาต่อเข้าด้วยกัน ถึงจะได้ความยาวที่สมบูรณ์ตามต้องการ

คุณสมบัติอันดับแรกของเส้นใยแสงคือ การลดทอน ซึ่งขึ้นอยู่กับความยาวคลื่น เทคโนโลยีในตอนต้น ๆ นั้นใช้ความยาวคลื่นแถบ 800-900 นาโนเมตรอย่างเดียวนั้น เนื่องจากในแถบความยาวคลื่นนี้เส้นใยที่ผลิตได้ในเวลานั้น แสดงค่าการลดทอนต่ำสุด และแหล่งกำเนิดแสงและโฟโตดีเทคเตอร์ที่ทำงานในย่านความยาวคลื่นนี้จัดหาได้ง่าย โดยการลดความเข้มข้นประจุของไฮดรอกซิล (Hydroxyl ions) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาสำหรับการใช้งานในเอกสารนี้เท่านั้น ไม่สามารถเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

และประจุของโลหะ (Metallic ions) ที่เจือปนอยู่ในส่วนประกอบของเส้นใย ทำให้ผู้ผลิตสามารถผลิตเส้นใยแสงที่มีการสูญเสียต่ำมากในย่านความยาวคลื่น 1100-1600 นาโนเมตรได้

ปกติ Spectral bandwidth จะอ้างถึงในย่าน long-wavelength ลักษณะสำคัญที่เพิ่มขึ้นหลังจากได้พัฒนาที่ความยาวคลื่น 1300 นาโนเมตรแล้ว เนื่องจากในย่านนี้เส้นใยซิลิกาบริสุทธิ์มีความเพี้ยนต่ำมาก

ได้มีการเริ่มต้นวิจัยส่วนประกอบของเส้นใยชนิดใหม่ ๆ สำหรับใช้ในย่านความยาวคลื่น 3-5 ไมโครเมตร เริ่มต้นจากจุดสำคัญที่น่าสนใจเกี่ยวกับโลหะฮาไลด์ ที่มีผลึกมากกว่าหลายผลึก เช่น ซิงค์คลอไรด์ (SnCl_2), ธอลเลียมโบรไมด์ (TlBr), และธอลเลียมโบรไมโอไอโอด (KPS-5) การพยากรณ์เป็นเพียงสมมติฐานคาดว่าเส้นใยเหล่านี้มีการลดทอนน้อยกว่า 0.01 เดซิเบลต่อกิโลเมตร ความสำเร็จจากการผลิตเส้นใยที่มีการสูญเสียต่ำเหล่านี้ จะก่อให้เกิดผลต่อการสื่อสารทางไกลอย่างมาก เมื่อเคเบิลได้ติดตั้งไปแล้ว แหล่งกำเนิดแสงที่เป็นส่วนสำคัญที่จะใช้ส่งถ่ายพลังงานของแสงเข้าไปในเส้นใยจะต้องมีขนาดที่เหมาะสมกับคอร์ของเส้นใย



เอกสารนี้เป็น รูปที่ 6. การลดทอนของเส้นใยแสงขึ้นอยู่กับความยาวคลื่น ญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารกึ่งตัวนำไดโอดเปล่งแสง (LEDs) และเลเซอร์ไดโอดเหมาะสมที่จะใช้เป็นแหล่งกำเนิดเครื่องส่งเพื่อจุดประสงค์นี้ เนื่องจากเอาต์พุตของแสงสามารถมอดูเลตโดยตรงกับกระแสไฟไบอัสที่แปรค่าได้อย่างรวดเร็ว สัญญาณไฟฟ้าที่ป้อนให้กับเครื่องส่งอาจเป็นแอนะล็อก หรือดิจิทัลอย่างหนึ่งอย่างใดก็ได้ที่เครื่องส่งจะมีวงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเหล่านี้ ให้เป็นสัญญาณแสงจากการแปรค่ากระแสไฟที่ไหลผ่านแหล่งกำเนิดแสง แหล่งกำเนิดแสงเป็น Square law device ซึ่งหมายความว่า การแปรผันเป็นเส้นตรง (linear) ในวงจรขั้วกระแสจะมีผลตรงกันกับการเปลี่ยนแปลงเป็นเส้นตรงในวงจรออปติคัลเอาต์พุต เนาเวอร์ ในย่านความยาวคลื่น 800-900 นาโนเมตร โดยทั่วไปแหล่งกำเนิดแสงเป็นโลหะผสมของ GaAlAs ที่ความยาวคลื่นที่ยาวกว่า (1100-1600 นาโนเมตร) ส่วนประกอบที่สำคัญของแหล่งกำเนิดแสงเป็นโลหะผสมของ InGaAsP หลังจากสัญญาณแสงถูกส่งเข้าไปในเส้นใยแล้ว การลดทอนและความเสียหายจะเพิ่มขึ้นตามระยะทางไปตามลำดับ เนื่องจากการกระจาย, การดูดซึม, และโครงสร้างที่ทำให้แสงกระจายในทางเดินของแสง ทางด้านรับ การลดทอนและความเสียหายของออปติคัล เนาเวอร์เอาต์พุตจะถูกตรวจรับโดยโฟโตดีเทคเตอร์

ในการทำงานเดียวกันกับแหล่งกำเนิดแสง โฟโตดีเทคเตอร์เป็น Square-law device ด้วยเหมือนกัน เนื่องจากมันเปลี่ยนพลังงานแสงที่ได้รับเป็นกระแสไฟฟ้าทางเอาต์พุต (Photo-current)

สารกึ่งตัวนำ PIN และ APD โฟโตดีเทคเตอร์ทั้งสองตัวนี้ส่วนใหญ่ใช้ในการเชื่อมโยงการสื่อสารทางแสง อุปกรณ์ทั้งสองชนิดนี้ให้ประสิทธิภาพและการตอบสนองต่อความเร็วสูงมาก สำหรับการใช้งานโดยปกติ APD โฟโตดีเทคเตอร์จะใช้กับสัญญาณแสงที่รับได้ที่มีเนาเวอร์ระดับต่ำ เนื่องจากมีความไวสูง และโครงสร้างภายในมีการขยาย ซึ่งเป็นคุณสมบัติประจำตัวของมัน ซิลิคอนโฟโตดีเทคเตอร์ใช้ในย่านความยาวคลื่น 800-900 นาโนเมตร ออปติคัลดีเทคเตอร์ชนิดต่างๆ สามารถนำมาใช้กับความยาวคลื่นที่ยาวกว่าได้ ส่วนประกอบที่ถูกเลือกมาใช้ในตอนแรกในย่านความยาวคลื่น 1100-1600 นาโนเมตรก็คือโลหะผสม InGaAs

การออกแบบเครื่องรับมีความยุ่งยากมากกว่าของเครื่องส่ง เนื่องจากมันต้องมีการขยายสัญญาณและมีการสร้างสัญญาณขึ้นมาใหม่จากสัญญาณที่ได้รับจากโฟโตดีเทคเตอร์ ที่มีระดับสัญญาณต่ำ ๆ ที่มีอยู่เป็นประจำ คุณภาพของเครื่องรับที่ต้องการเป็นอันดับแรกคือ ค่า Optical power ที่สุทธระบบ Analog ให้ได้ตามกำหนด สำหรับแต่ละ Data rate ที่ต้องการ เราจะเห็นได้ว่า ความสามารถของเครื่องรับที่จะบรรลุผลในระดับที่ต้องการนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของโฟโตดีเทคเตอร์ สิ่งรบกวนที่ก่อให้เกิดขึ้นในระบบ และคุณสมบัติของภาควิทยุติในเครื่องรับ

เมื่อสัญญาณแสงเดินทางไปตามเส้นใยในระยะทางพอสมควร สัญญาณจะถูกลดทอนและเกิดความเสียหายจนถึงองศา (Degree of distortion เป็น %) ที่จะต้องทวนสัญญาณในสายรับ-ส่ง เพื่อที่จะทำการขยายสัญญาณ สร้างสัญญาณขึ้นมาใหม่ สถานีทวนสัญญาณแสงประกอบด้วยเครื่องรับและ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องส่ง ติดตั้งแบบหลังชนกัน ภาคเครื่องรับตรวจรับสัญญาณแสงและเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งต้องทำการขยายสัญญาณสร้างสัญญาณขึ้นมาใหม่ และส่งสัญญาณไฟฟ้าให้กับภาคเครื่องส่ง ภาคเครื่องส่งเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้ากลับเป็นสัญญาณแสงใหม่ และส่งเข้าไปในเส้นใยแสง เจื่อนไซท์จะเป็นตัวกำหนดรายละเอียดว่าเมื่อไรจึงจะต้องการสถานีทวนสัญญาณแสงในระบบ เชื่อมโยงทางแสงจะได้กล่าวพร้อมกันกับระบบ Wavelength division multiplexing และ ระบบการจัดการเรื่อง Line-coding

-ระบบเส้นใยแสง

แรกเริ่มการนำเทคโนโลยีของเส้นใยแสงมาใช้มีจุดประสงค์เพื่อการเชื่อมโยงระบบโทรคมนาคมแบบดิจิทัลระหว่างจุดต่อจุด การเชื่อมโยงที่กำเนิดขึ้นครั้งแรก ส่วนใหญ่ได้ออกแบบสำหรับขนาดบิตจาก 2-50 mb/s อุปกรณ์ไฟฟ้าแสงที่ใช้ในระบบเหล่านี้ทำงานในย่านความยาวคลื่น 810-890 นาโนเมตร ซึ่งการสูญเสียจากการส่งผ่านเคเบิลใยแสงมีค่าที่กำหนดให้ 4-6 เดซิเบลต่อกิโลเมตร หลังจากการวางและต่อเคเบิลเข้าด้วยกันแล้ว ทำให้ได้ระยะทางระหว่างเทอร์มินอล 5-10 กิโลเมตร โดยไม่ต้องมีสถานีทวนสัญญาณ ซึ่งทำให้ไม่ต้องใช้บ่อพักสำหรับสถานีทวนสัญญาณในพื้นที่ที่มีชุมชนหนาแน่น และทำให้ลดจำนวนของสถานีทวนสัญญาณในโครงข่ายโทรคมนาคมในนครหลวงให้ไกลออกไปได้อีก ในยุคที่สองระบบทำงานที่ความยาวคลื่น 1.3 ไมโครเมตร ซึ่งการสูญเสียจากการส่งผ่านเคเบิลใยแสงประมาณ 0.5 เดซิเบลต่อกิโลเมตร ซึ่งสามารถขยายการส่งสัญญาณให้ไกลออกไปได้อีก โดยไม่ต้องใช้สถานีทวนสัญญาณ

นอกจากการใช้งานด้านโทรคมนาคมแล้ว ก็ได้มีการติดตั้งเชื่อมโยงเส้นใยแสงในโรงงานไฟฟ้ากำลัง การเชื่อมโยงเหล่านี้ใช้เพื่อการส่งข่าวสารสำหรับระบบการป้องกัน การอำนวยความสะดวก และการควบคุม ซึ่งมีความสำคัญที่สุดในโรงไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่และประกอบด้วยเครื่องมือทันสมัย ข่าวสารดังกล่าวนี้จะถูกส่งโดยระบบการสื่อสารไมโครเวฟธรรมดาร่วมกันกับสายส่งกำลังต่างๆ และกับระบบการสื่อสาร อย่างไรก็ตามในเมืองใหญ่ ๆ สิ่งรบกวนที่เกิดจากการวางโครงข่ายสายไฟฟ้าแรงสูง ขนาด 275 กิโลโวลต์ ระบบการสื่อสารด้วยไมโครเวฟที่มีคุณภาพสูง ไม่สามารถที่จะดำเนินการด้วยความมั่นใจได้ อาคารสูง ๆ ก็เป็นอุปสรรคสำหรับการส่งสัญญาณไมโครเวฟ ด้วยเส้นใยแสงที่ภูมิคุ้มกันต่อการเห็นยว่นำสิ่งรบกวน ทำให้มีการส่งข้อมูลที่มีความจุสูง ๆ ได้ ด้วยเหตุนี้ จึงเป็นอีกระบบหนึ่งของการสื่อสารที่ดี

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเส้นใยแสงขยายเข้าไปในชุมสายวงจรผู้เช่า นี่เป็นส่วนหนึ่งของโครงข่ายโทรคมนาคมที่เชื่อมต่อกับเครื่องปลายทาง ของผู้เช่าที่ตั้งอยู่ใกล้กับชุมสายกลางสื่อว่าการส่งที่ใช้กันมานานในโครงข่ายนี้คือ สายคู่ไขว้ทองแดง สายคู่ไขว้ทองแดงเหล่านี้ได้มีการปรับปรุงเป็นอย่างดี อายุการใช้งาน และการลงทุนสำหรับการใช้งานอย่างคุ้มค่าเป็นเวลาหลายสิบปี เพื่อส่งสัญญาณเสียงคุณภาพดี อย่างไรก็ตามยังไม่เพียงพอสำหรับความต้องการที่เพิ่มขึ้นสำหรับการให้บริการหลายอย่างที่ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กว้างขึ้นอยู่กับที่อยู่อาศัยหรือสำนักงาน เช่น การชำระเงิน หรือ การศึกษาทางโทรทัศน, ห้องสมุดและการค้นหาข่าวสาร, การประมวลผลทางวิดีโอ, อิเล็กทรอนิกส์, การธนาคาร, และการซื้อของ

นี่คือสิ่งที่น่าสนใจเป็นอย่างมากที่จะนำไปสู่การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเส้นใยแสงกับ วงจรผู้เช่าจากชุมสายท้องถิ่นกับที่อยู่อาศัยหรือสำนักงาน ในทางตรงข้ามกับสายคู่ไขว้ทองแดง เส้นใยแสงจะให้การลดทอนต่ำ, ส่งข้อมูลได้จำนวนมาก, มีภูมิคุ้มกันต่อการฟ้าผ่าและการรบกวนจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ไม่มีการรบกวนระหว่างเส้นใย และไม่ขึ้นอยู่กับสัญญาณความถี่จริง ๆ ซึ่งไม่จำเป็นต้องมีวงจรอ็อกวอลซ์ ซึ่งตรงข้ามกับสายคู่ไขว้ทองแดง โดยการนำลักษณะเด่น ๆ เหล่านี้มาใช้เส้นใยแสงสำหรับวงจรผู้เช่าจะต้องออกแบบไว้ล่วงหน้าทั้งปัจจุบันและอนาคต สำหรับความต้องการการบริการหลาย ๆ อย่างที่เพิ่มมากขึ้น

ตัวกำเนิดแสง (Light Source)

ในด้านการสื่อสาร อุปกรณ์ที่ให้กำเนิดพลังงานแม่เหล็กในแถบความยาวคลื่นที่ตามองเห็นและแถบอินฟราเรด เรียกว่า "ตัวกำเนิดแสง" พลังงานที่กำเนิดออกมานี้เป็นตัวนำข่าวสาร (Information Carrier) ถ้าแสงที่เกิดขึ้นมีความยาวคลื่น หรือความถี่เดียว และยังคงมี Phase Front สม่าเสมอ เราเรียกแหล่งกำเนิดแสงนั้นว่า Coherent source อย่างไรก็ตาม ตัวกำเนิดแสงส่วนมากจะให้กำเนิดแสงที่มีหลายความยาวคลื่นแตกต่างกัน และ Phase Front ไม่สม่าเสมอตัวกำเนิดแสงแบบนี้เรียกว่า Incoherent Source

คุณสมบัติของตัวกำเนิดแสงที่ดี

อุปกรณ์ Solid-state เช่นทรานซิสเตอร์ ฟังก์ชันไดโอดมีรูปร่างกะทัดรัดและสามารถออกแบบให้มีความถี่สูง ประสิทธิภาพสูงได้ ถ้านำมาทดแทนโครงข่ายและอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบการสื่อสารต้องดำเนินไปด้วยดีหรือดีมาก ดังนั้น คุณสมบัติของตัวกำเนิดแสงจึงมีความสำคัญมาก มีความแตกต่างกันบางอย่างในคุณสมบัติที่เหมาะสมที่สุด เช่น Output Intensity และ ความยาวคลื่นเมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับการสื่อสารทางแสงผ่านบรรยากาศและเส้นใยแสง แต่ในที่นี้จะได้นิยามเฉพาะ คุณสมบัติที่ต้องการสำหรับระบบเส้นใยแสง ดังสรุปในตารางที่ 1

ตัวกำเนิดแสงที่ดีควรมีคุณสมบัติพอสรุปได้ดังนี้ คือ

1. Output power กำลังงานต่ำสุดที่ควรได้รับจากแหล่งกำเนิดแสงพิจารณาได้จากการสูญเสียของเส้นใยแสง (A) และกำลังงานต่ำสุดที่ตัวรับแสงสามารถตรวจจับได้ (S) เช่น $A = 45 \text{ dB}$ และ $S = -45 \text{ dB}$ กำลังงานจากแหล่งกำเนิดแสงจะต้องมากกว่า 1 mW ในทางปฏิบัติ ตัวกำเนิดแสงที่ดีควรสามารถให้กำเนิดแสงที่มีกำลังงานระหว่าง 10 ถึง 100 mW

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Power Efficiency

ประสิทธิภาพของอุปกรณ์หาได้จาก

$$= P_o / P_i * 100\%$$

เมื่อ P_i คือ Input Power

P_o คือ Output Power

ในปัจจุบันต้องการให้ประสิทธิภาพมากกว่า 10% แต่ในอนาคตอาจจะได้ ประสิทธิภาพ

สูงถึง 50%

Property	Requirement	Target
Primary Characteristics		
Wavelength ->	It must operate at a wavelength which gives low loss and low dispersion in fibers	0.85, 1.3, 1.6
Reliability	Long life, good stability of operation, and good reproductibility of output characteristics are necessary	Life = 10^6 h
Output power	System demands must be met	> 1 mW
Power efficiency	It must operate with an electric power supply requiring only a low power and low voltage, and the amount of waste heat generated must be small.	> 10%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ส่วนตัวในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<p>Desirable Propertys</p> <p>Spectral with (temporal coherence)</p> <p>Focusing effect (spatial coherence)</p>	<p>It must have a spectral width enables the maximum bandwidth of the optical fiber to be realized.</p> <p>It shoude be possible to focus the output onto the fiber and to obtain high coupling efficiency.</p>	<p>Target must be determined by the scale of the system.</p>
---	---	--

Property	Requirement	Target
<p>Modulation</p> <p>Size and weight</p> <p>Cost</p>	<p>Direct modulation must be possible or coupling to an external modulation made easy.</p> <p>It must be small and light</p> <p>Mass production and low cost are desirable.</p>	

3. Operating Wavelength

ตัวกำเนิดแสงควรเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่นประมาณ 0.95 μ m หรือ 1.0-1.6 μ m ซึ่งเส้นใยแสงมีการสูญเสียต่ำโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ความยาวคลื่นใกล้เคียง 1.3 μ m เส้นใยแสงจะไม่มี Material Dispersion และมี Bandwidth กว้าง

4. Spectral Width

Spectral Width มีผลต่อ Transmission Bandwidth อย่างมากในระบบ Low-capacity ที่ต้องการ Bandwidth หลายเมกะเฮิรต์ แหล่งกำเนิดแสงอาจให้กำเนิดแสงที่แคบกว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มี Bandwidth กว้าง ต้องลด Spectral Width ลง อย่างไรก็ตาม ก็ยังขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นที่ใช้ด้วยเหมือนกัน

ในระบบที่ใช้ Single Mode Fibre ส่วนใหญ่ Spectral Width จะเป็นตัวจำกัด Transmission Bandwidth เพราะดัชนีหักเหของ Core เปลี่ยนตามความยาวคลื่น

ดังนั้น เมื่อตัวกำเนิดแสงมี Spectral Width ที่จำกัดการ Broaden ของ Pulse ที่ส่งไปเนื่องจากความยาวคลื่นจะขึ้นอยู่กับเวลาที่เคลื่อนที่ ในเส้นใยแสงทุกๆ ไป องค์ประกอบของความยาวคลื่นที่ต่างกันจะมี Delay Time ต่างกันประมาณ 100 ps/nm ตลอดระยะทางยาว 1km ที่ความยาวคลื่น 0.85 μm

5. Modulation

ปัจจัยสำคัญ ในการกำหนดความสำเร็จหรือล้มเหลวของตัวกำเนิดแสงที่ใช้ในระบบสื่อสารทางแสงคือ แสงสามารถมอดูเลทกับสัญญาณไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ มากน้อย เพียงไร ความสำคัญของการมอดูเลชันอยู่ที่ว่าวงจรมอดูเลเตอร์และแหล่งกำเนิดแสง สามารถเชื่อมต่อซึ่งกันและกันได้

6. Reliability

อายุการใช้งานเป็นสิ่งจำเป็น ในปัจจุบันต้องการอายุการใช้งานยาวนานถึง 10^5 ชั่วโมง (มากกว่า 100 ปี) เหตุผลที่ต้องการให้มีอายุการใช้งานยาวนานก็คือ สมมติว่าระบบหนึ่งใช้ตัวกำเนิดแสง 10 ชุด และระบบทั้งหมดจะใช้งานไม่ได้ ถ้าชุดใดชุดหนึ่งของระบบหยุดทำงาน ตามลักษณะความน่าจะเป็นแหล่งกำเนิดแสงแต่ละชุดอาจจะใช้งานไม่ได้หลังจาก 10^5 ช.ม. หรือเร็วกว่านี้ ยิ่งแหล่งกำเนิดแสงมีจำนวนมากก็ดูเหมือนว่าจะมีโอกาสเกิดการผิดพลาดก่อนอายุการใช้งานจริงเร็วขึ้น

7. รูปร่างและน้ำหนัก

น้ำหนักของอุปกรณ์รวมทั้งแหล่งจ่ายกำลังโดยปกติ ต้องสามารถจ่ายกำลังได้อย่างสม่ำเสมอ และสามารถใช้งานกับอุปกรณ์เครื่องส่งและสถานีทวนสัญญาณได้

8. ราคา

ระบบใหม่ต้องประหยัดกว่าระบบที่มีใช้อยู่แล้ว ความแข็งแกร่งทนทานขึ้นอยู่กับอายุการใช้งาน การบำรุงรักษาง่าย

ตัวกำเนิดแสงที่ใช้ในระบบสื่อสารด้วยเส้นใยแสง ได้แก่ Injection laser Diodes (ILDs) และ Light-emitting Diodes (LEDs) อุปกรณ์ทั้งสองประเภทนี้ เหมาะสมกับระบบปรับส่งเส้นใยแสงเพราะมี output power ที่มีสูงพอและกำลังงานแสงที่ส่งออกมาสามารถมอดูเลทได้โดยตรง โดยการเปลี่ยนค่ากระแสที่ป้อนให้กับอินพุทของอุปกรณ์ นอกจากนี้ยังมีประสิทธิภาพสูง และขนาดเหมาะสมกับเส้นใยแสง วนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

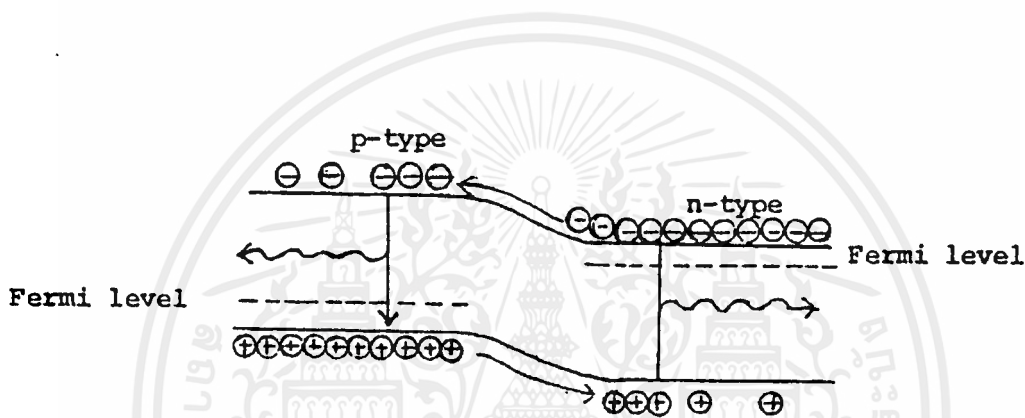
บริเวณที่มีการเปล่งแสงของทั้ง LEDs และ Laser Diodes ประกอบด้วย p-n Junction ที่เกิดจากสารกึ่งตัวนำกรุป 3, 4 ในตารางธาตุ เมื่อ Junction ได้รับ Forward Bias อิเล็กตรอน และ Hole จะถูกฉีดเข้าไปในด้าน p และ n ตามลำดับและเกิดการรวมตัว ซึ่งอาจจะเป็นในลักษณะ Radiative Recombination คายโฟตอนที่มีความถี่ h ออกมา หรือ Nonradiative Recombination คายพลังงานออกมาในรูปของความร้อน บริเวณรอยต่อนี้คือ Active หรือ Recombination Region

ข้อแตกต่างระหว่าง LEDs และ Laser Diodes ก็คือกำลังงานแสงที่เปล่งออกจาก LEDs เป็น Incoherent แต่กำลังงานแสงที่เปล่งออกจาก Laser Diodes เป็น Coherent ใน Coherent source กำลังงานถูกสร้างขึ้นใน optical Resonant Cavity พลังงานแสงที่เปล่งออกมาจาก Cavity นี้จะมีความเป็น Monochromatic สูง และลำแสงที่ส่งออกมาจะมีทิศทางเฉพาะ ใน Incoherent LED Source จะไม่มี Optical Cavity เป็นตัวเลือกความยาวคลื่น ทำให้แสงที่เปล่งออกมามี Spectral Width กว้าง นอกจากนี้แล้วแสงที่เปล่งออกมายังมี Beam Divergence กว้างอีกด้วย

ในการเลือกตัวกำเนิดแสงให้เหมาะสมกับเส้นใยแสงจะต้อง พิจารณาคุณลักษณะหลาย ๆ อย่างของเส้นใยแสงประกอบด้วย เช่น การลดทอน, Bandwidth และ Modal Characteristics นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึง power, Spectral Width, Radiation Radiation Pattern และ Modulation Capacity ของตัวกำเนิดแสงเองด้วย สำหรับเส้นใยแสงแต่ละชนิดต้องการขนาดของ จุกรวมแสง (Light Spot) ที่จะส่งเข้าไปในเส้นใยแตกต่างกัน Graded-index Fibre มีการกระจายความเข้มของแสง (Light-intensity Distribution) เป็นรูปคล้าย Gaussian Shape ดังนั้น เส้นใยแสงแบบนี้จะสามารถ Couple กับตัวกำเนิดแสงที่มีการกระจายความเข้มของแสงแบบเดียวกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ Single Mode Fibre เป็นเส้นใยชนิดที่มี Core เล็กมาก ดังนั้น ถ้าแหล่งกำเนิดแสงมีบริเวณที่เปล่งแสง (Emission Region) ใหญ่กว่า Core ของเส้นใยมากก็จะทำให้มีแสงบางส่วนสูญเสียไป ยิ่งกว่านั้น Light Acceptance Angle ยังถูกจำกัดโดย Numerical Aperture ของเส้นใยแสง ดังนั้น ตัวกำเนิดแสงที่มี Radiation pattern กว้าง จะไม่สามารถ Couple ได้อย่างมีประสิทธิภาพ กำลังงานที่เปล่งออกมาจาก Laser Diodes สามารถ Couple เข้าไปใน Single Mode หรือ Multimode Fibre ก็ได้ แต่กำลังงานแสงที่เปล่งออกจาก LEDs ต้อง Couple เข้าไปใน Multimode Fibre เท่านั้นจึงจะมีกำลังงานมากพอที่จะนำไปใช้ประโยชน์ได้

Light Emitting Diodes (LED)

โครงสร้างพื้นฐานที่ทำให้เกิด Injection Luminescence คือ p-n Junction ภายใต้สภาวะ Forward Bias ภายใต้สภาวะ Forward Bias พหุส่วนใหญ่จากทั้งสองด้านของรอยต่อจะข้ามกำแพงความต่างศักย์เข้าไปในด้านตรงข้ามและกลายเป็น Minority Carrier ทำให้จำนวน Minority Carrier มีมากเกินไป สถานการณ์แบบนี้รู้จักกันในเทอมของ " Minority Carrier Injection " Minority Carrier ที่มีจำนวนมากเกินไปนี้จะ Diffuse ออกไปจากรอยต่อ และรวมตัวกับ Majority Carriers ดังแสดงในรูป



รูปที่ 7. injection of Minority Carriers and Subsequent Radiative Recombination with the Majority Carriers in a Forward Biased p-n Junction.

ในทางอุดมคติอิเล็กตรอนทุกตัวที่ถูกฉีดเข้าไปจะมีส่วนทำให้เกิด Radiative Recombination ดังนั้น จำนวนโฟตอนที่ปล่อยออกมาจึงมีมากขึ้น แต่ในทางปฏิบัติจะไม่เป็นเช่นนั้น ประสิทธิภาพของอุปกรณ์จะอธิบายในรูปของ Quantum Efficiency ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างอัตราการปลดปล่อยโฟตอนกับอัตราการป้อนอิเล็กตรอนให้ ในสภาวะ Reverse Bias จะไม่มี Carrier Injection เกิดขึ้นจึงไม่มีการเปล่งแสงออกมา

ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของ LED ดังแสดงในรูปที่ 8. โดยที่

$$i = i_0 [\exp(eV/BkT) - 1]$$

เมื่อ i_0 คือ Reverse Saturation Current

T คือ อุณหภูมิ °K

B คือ Electron-hole Generation Efficiency Factor

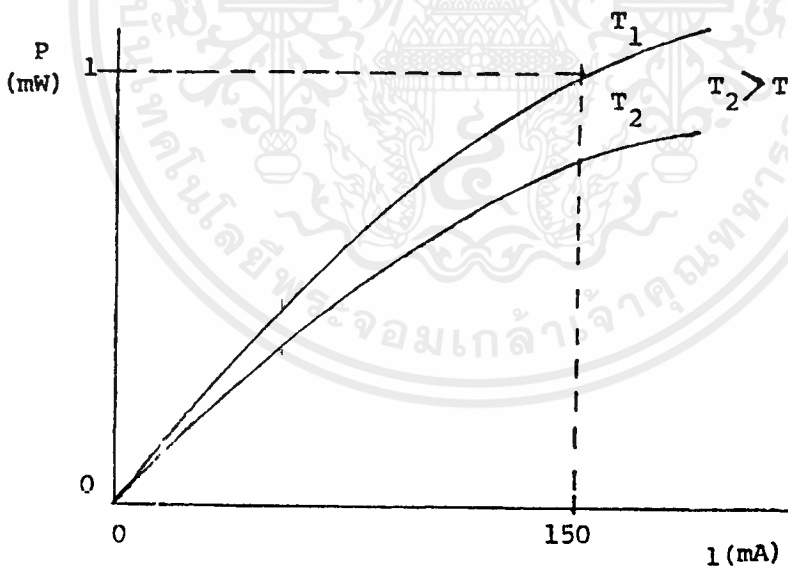
k คือ Boltzmann's Constant = 1.38×10^{-23} J/K

ความยาวคลื่นที่เปล่งออกมากำหนดโดย

$$\begin{aligned} &= hc/E_g \\ &= 1.24 (\mu\text{m})/E_g (\text{eV}) \end{aligned}$$

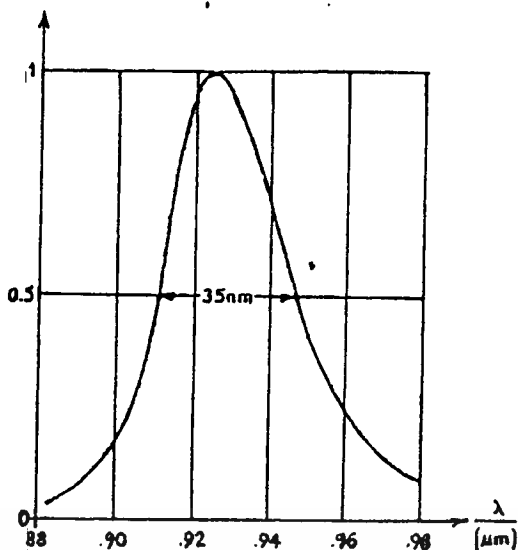
เช่น GaAs มี $E_g = 1.44$ eV จะเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่น $0.86 \mu\text{m}$ รูปที่ 9. แสดงตัวอย่างของ Spectral Emission Pattern ของ LEDs

▲ คือ Spectral Width ซึ่งเป็นความกว้างที่ Intensity เป็นครึ่งหนึ่งของค่าสูงสุด



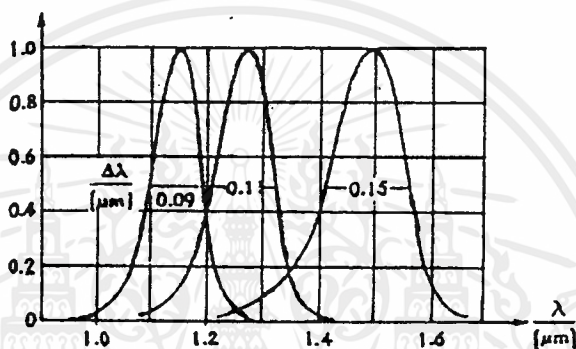
รูปที่ 8. Optical Power ของ LED ในรูปของ Signal Current

Relative spectral intensity



(a)

Relative spectral intensity



(b)

รูปที่ 9. Examples of measured LED emission spectra: (a) typical spectrum of a Si-doped GaAs diode; (b) spectra from a set of InGaAsP LEDs with three different active layer compositions. In these devices $\Delta \epsilon_{ph} \approx 3.3kT$. [Taken from O.Wada et al., Performance and reliability of high radiance InGaAsP/InP DH LEDs operating in the 1.15-1.5 wavelength region, IEEE Jnl. of Quantum Ers. QE-18, 368-74 (1982); 1982 IEEE.]

Quantum Efficiency

ตั้งได้กล่าวมาแล้วข้างต้น การรวมตัวของ Carrier อาจจะเป็นแบบ Radiative หรือ Nonradiative Recombination ก็ได้ Internal Quantum Efficiency ใน Active Region คือ อัตราส่วนของ Electron-hole Pairs ที่รวมตัวกันแบบ Radiative Recombination

ถ้า R_r = Radiative Recombination Rate ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์และการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 R_{nr} = Nonradiative Recombination Rate ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น Internal Quantum Efficiency (η_{int}) หาได้จาก

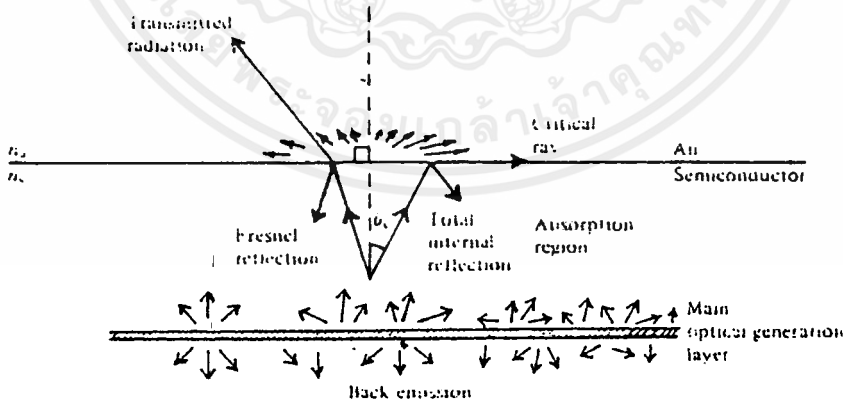
$$\eta_{int} = R_r / (R_r + R_{nr})$$

ถึงแม้ว่าแหล่งกำเนิดแสงสารกึ่งตัวนำจะมี Inherent Quantum Efficiency สูงแต่ก็ไม่สามารถรับประกันได้ว่าจะประสบผลสำเร็จในการใช้งาน การเปล่งรังสีจะเกิดขึ้นในทุกทิศทางรอบ Active Region จึงจำเป็นต้องให้แสงเปล่งออกมาภายนอกมากที่สุดเท่าที่จะมากได้ อัตราส่วนของจำนวนโฟตอนที่ส่งออกมา ภายนอกต่อจำนวนพาหะที่ข้ามรอยต่อมา เรียกว่า External Quantum Efficiency (η_{ext})

External Quantum Efficiency (η_{ext})

รูปที่ 4.18 แสดงให้เห็นสาเหตุใหญ่ที่ทำให้ η_{ext} มีค่าน้อยกว่า η_{int} คือ

1. Back Emission เนื่องจากเกิดการเปล่งแสงในทุกทิศทางแต่เฉพาะแสงที่เปล่งออกมาในทิศทางรอยต่อระหว่างสารกึ่งตัวนำกับอากาศเท่านั้นที่นำมาใช้ประโยชน์ได้
2. Critical Angle (θ_c) แสงที่มาถึงรอยต่อระหว่างสารกึ่งตัวนำกับอากาศ จะต้องทำมุมน้อยกว่า θ_c จึงจะไม่เกิดการสะท้อนกลับหมด
3. Fresnel Reflection แสงบางส่วนจะสะท้อนกลับที่รอยต่อของสารกึ่งตัวนำ กับอากาศ
4. Absorption แสงบางส่วนถูกดูดกลืนไปในบริเวณที่อยู่ระหว่าง Active Region กับรอยต่อสารกึ่งตัวนำ-อากาศ



Schematic diagram illustrating the four main causes of optical loss in an LED, limited acceptance cone of the surface, Fresnel reflection and absorption.

รูปที่ 10. แสดงให้เห็นถึง Optical Loss ทั้ง 4 สาเหตุ ใน LED

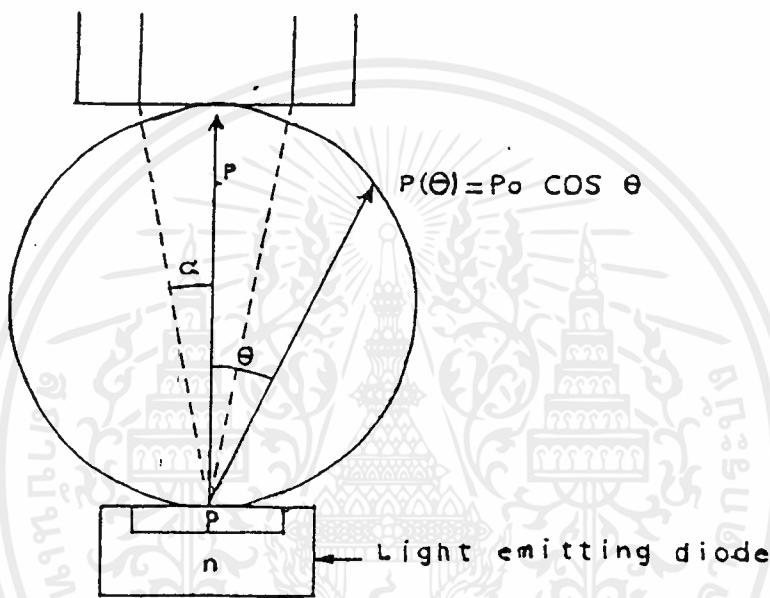
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LED Structures

เนื่องจากการเปล่งแสงใน LED เป็นแบบการเปล่งแสงโดยตัวเอง ฉะนั้นแสงที่เปล่งออกมาจะมี Radiation Diagram กว้างมาก เป็นไปตามกฎของ Lambert คือ

$$P(\theta) = p_0 \cos \theta$$

ทำให้มีเพียงบางส่วนที่สามารถส่งเข้าไปในเส้นใยแสง ซึ่งมี NA จำกัดได้ ดังแสดงในรูปที่ 11. ทำให้เกิด Coupling Loss สูง



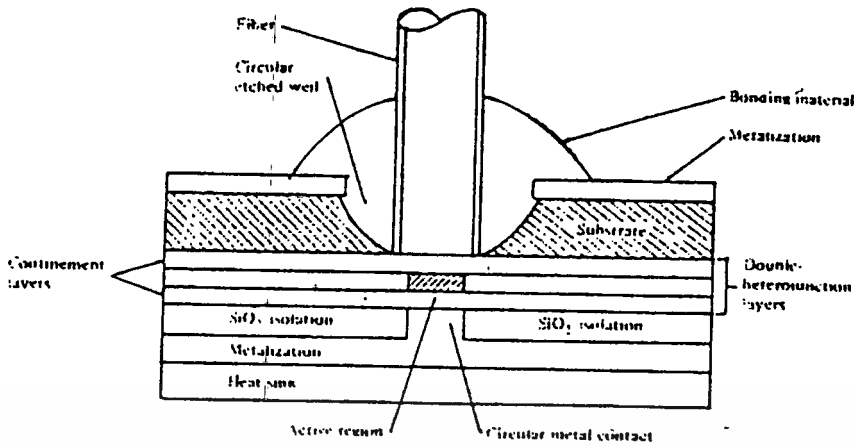
รูปที่ 11. Radiation Diagram According to Lambert's Law

ดังนั้น เพื่อให้ได้ LED ที่มีประสิทธิภาพสูง Frequency Response สูง Spectral Width แคบ และความเชื่อถือได้สูงจึงได้มีการปรับปรุงโครงสร้างของ LED โครงสร้าง 2 แบบที่นิยมใช้กับระบบเส้นใยแสง คือ

1. Surface Emitting LED
2. Edge Emitting LED

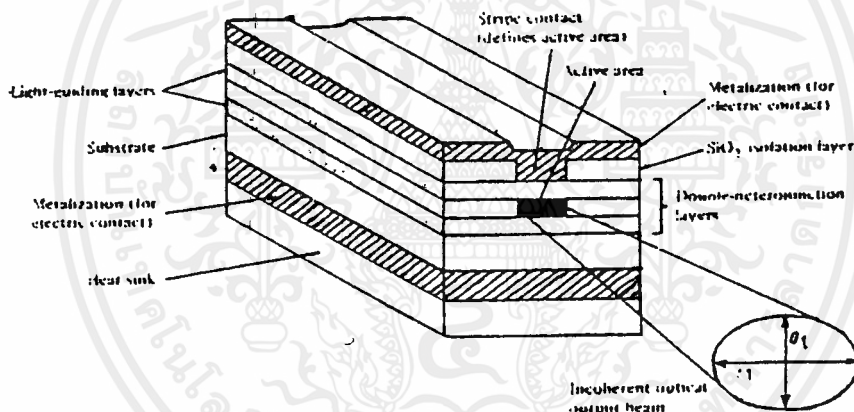
โครงสร้างทั้งสองแบบถูกออกแบบให้สามารถ Coupling เข้ากับเส้นใยแสงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลักษณะของโครงสร้างทั้งสองแบบ ดังแสดงในรูปที่ 12. และ 13.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Schematic (not to scale) of a high-radiance surface emitting LED. The active region is limited to a circular section having an area compatible with the fiber core end face.

รูปที่ 12.



Schematic (not to scale) of an edge-emitting double-heterojunction LED. The output beam is Lambertian in the plane of the pn junction ($\theta = 120^\circ$) and highly directional perpendicular to the pn junction ($\theta = 60^\circ$).

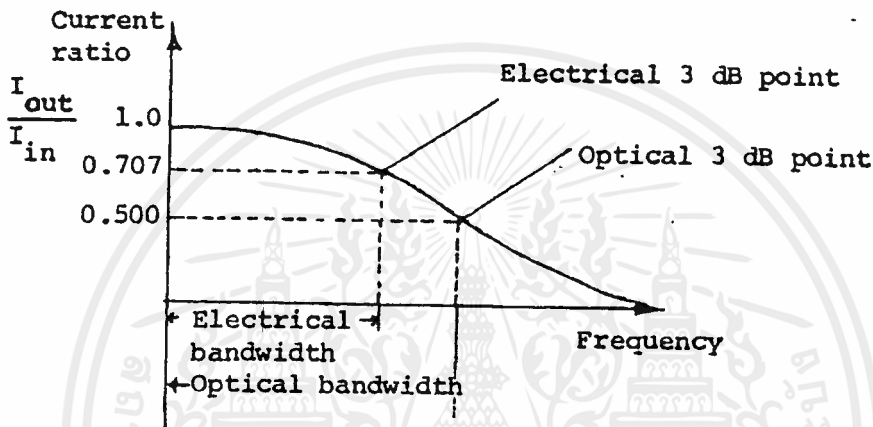
รูปที่ 13.

Modulation และ Modulation Bandwidth

Information จะถูกส่งไปกับ Optical Carrier ได้โดยขบวนการ Modulation เนื่องจากตัวกำเนิดแสง ส่วนใหญ่จะเป็น Incoherent Source ดังนั้นจึงไม่ใช่ Phase หรือ Frequency Modulation แต่ใช้ intensity modulation ทั้งแบบ Analog และ Digital แทน มีแหล่งกำเนิดแสงเพียง 2-3 ชนิดที่สามารถมอดูเลตได้โดยตรงโดย การเปลี่ยนแปลง Drive Current คือสารกึ่งตัวนำเลเซอร์ และ LEDs

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของสถาบันวิจัยและพัฒนาเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Modulation Bandwidth ทางด้านการสื่อสารทางแสงอาจจะ หมายถึง Bandwidth ทางไฟฟ้าหรือทางแสงก็ได้ แต่อย่างไรก็ตาม การใช้ Electrical Bandwidth จะเหมาะสมกว่า เพราะเราต้องเกี่ยวข้องกับวงจรไฟฟ้า Modulation Bandwidth จะหมายถึงย่านความถี่ระหว่าง 0 และความถี่สูงสุดที่จุด 3 dB ดังแสดงในรูปที่ 14.



รูปที่ 14. แสดงการตอบสนองทางความถี่ของระบบ Optical Fiber ทั้ง Electrical และ Optical Bandwidth.

จากรูปจะเห็นว่า Optical Bandwidth จะกว้างกว่า Electrical Bandwidth ความแตกต่างระหว่าง Bandwidth ทั้งสอง (ในเทอมของความถี่) จะขึ้นอยู่กับรูปร่างของ Frequency Response ของระบบนั้น ๆ

การ Modulation ทางความเข้มของแสงทำได้ง่ายโดยการควบคุม Forward Current ของ LED ให้เป็น ON และ OFF Modulation Bandwidth ของ LED ขึ้นอยู่กับ lifetime ของ Minority Carrier LEDs ที่มีใช้งานอยู่ในปัจจุบันมี Modulation Bandwidth 100-300 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวรับแสง (Photodetector)

คุณสมบัติของตัวรับแสงที่ดี

ที่ปลายด้าน Output ของเส้นใยแสง จะต้องมียุปกรณ์รับแสง เพื่อแปล Information ที่บรรจุมาในสัญญาณแสง อุปกรณ์ชิ้นแรกของเครื่องรับคือ Photodetector ซึ่งจะรับรู้กำลังงานแสงที่มาตกกระทบและเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของกระแสไฟฟ้า เนื่องจากสัญญาณแสงที่ออกมาจากปลายของเส้นใยแสงมีกำลังอ่อนมาก (เนื่องจากการลดทอนในเส้นใยแสง) ดังนั้น Photodetector จะต้องมีความสามารถในการทำงานสูง คุณสมบัติของตัวรับแสงที่เหมาะสมกับระบบเส้นใยแสง คือ

1. มีการตอบสนอง (Response) หรือการรับรู้ (Sensitivity) สูงต่อแสงในช่วงความยาวคลื่นที่ใช้งาน

2. มี Noise ต่ำ

3. มี Bandwidth เพียงพอสำหรับ Data Rate สูง ๆ

4. ไม่ควรแปรเปลี่ยนตามอุณหภูมิ

5. มีขนาดเหมาะสมกับเส้นใยแสง

6. มีราคาถูกเมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์อื่น ๆ

7. อายุการใช้งานยาวนาน

อุปกรณ์ Photodetector มีหลายชนิด เช่น Photomultipliers , Semiconductor Based Photoconductors, Phototransistors และ Photodiodes แต่อย่างไรก็ตาม ตัวรับแสงเหล่านี้บางตัวมีคุณสมบัติไม่เป็นไปตามต้องการ Photomultiplier ประกอบด้วย Photocathode และ Noise ต่ำ แต่มีขนาดใหญ่ต้องการแรงดันไฟฟ้าสูง จึงไม่เหมาะสมกับระบบเส้นใยแสง สำหรับ Photodetector ที่เป็นสารกึ่งตัวนำ, Photodiode เป็นตัวรับแสงที่เหมาะสมกับระบบเส้นใยแสงเพราะมีขนาดเล็ก วัสดุเหมาะสมมีความไวสูงและการตอบสนองเร็ว Photodiode ที่ใช้งานมี 2 ชนิด คือ

1. PIN Diode

2. APD (Avalanche Photodiode)

หลักการเบื้องต้นของ Photodiodes

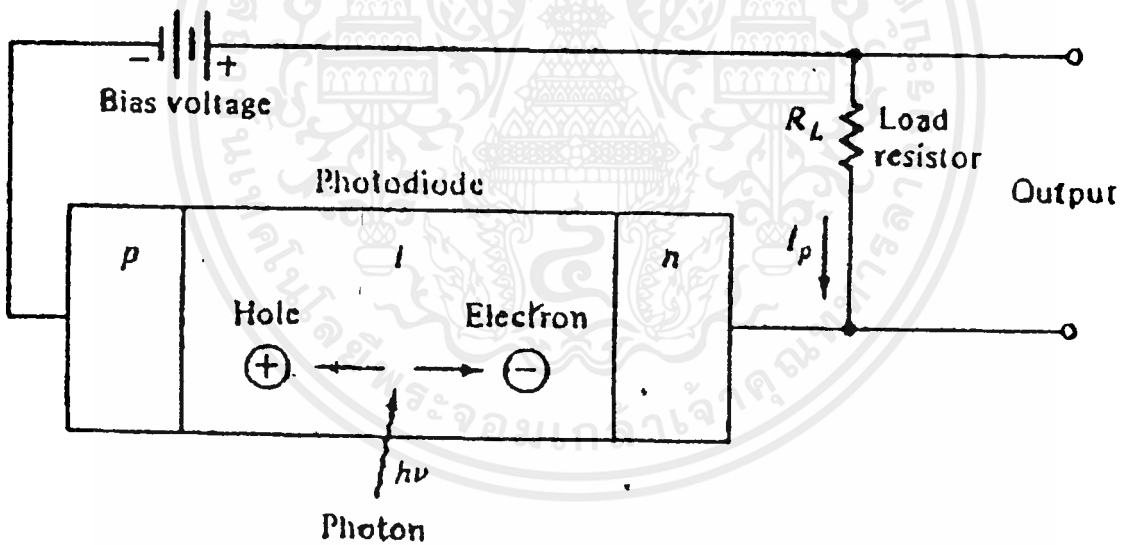
PIN Photodetector

รูปที่ 4.37 แสดงโครงสร้างของ Pin Diode ซึ่งประกอบด้วย p และ n Region ที่แยกจากกันโดย Intrinsic (i) Region ในสภาวะการทำงานปกติ จะต้องป้อนแรงดัน Reverse Bias ให้มากพอที่จะทำให้บริเวณ i Region ไม่มี Carrier เหลืออยู่เลย เมื่อโฟตอนที่มียังพลังงานไม่ต่ำกว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากันหรือมากกว่า Energy Gap วัสดุกกระทบโฟตอนจะถ่ายเทพลังงานให้แก่อิเล็กตรอนและ กระตุ้นให้อิเล็กตรอนจาก Valence Band ขึ้นไปอยู่ใน Conduction Band ขบวนการดูดกลืนแสงนี้ทำให้เกิด Electron-Hole Pairs ที่เรียกว่า "Photocarriers" เพราะเป็นโฟตอนที่ทำให้เกิด Charge Carrier (ดังแสดงในรูปที่ 16.) Photodetector นี้ถูกออกแบบ เพื่อให้การสร้าง Carrier ส่วนใหญ่เกิดขึ้นบริเวณ Depletion Region ซึ่งมีการดูดกลืนโฟตอน สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบริเวณ Depletion Region มีค่าสูงทำให้ Carriers ถูกแยกออกจากกันและเกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรภายนอก เรียกว่า "Photocurrent"

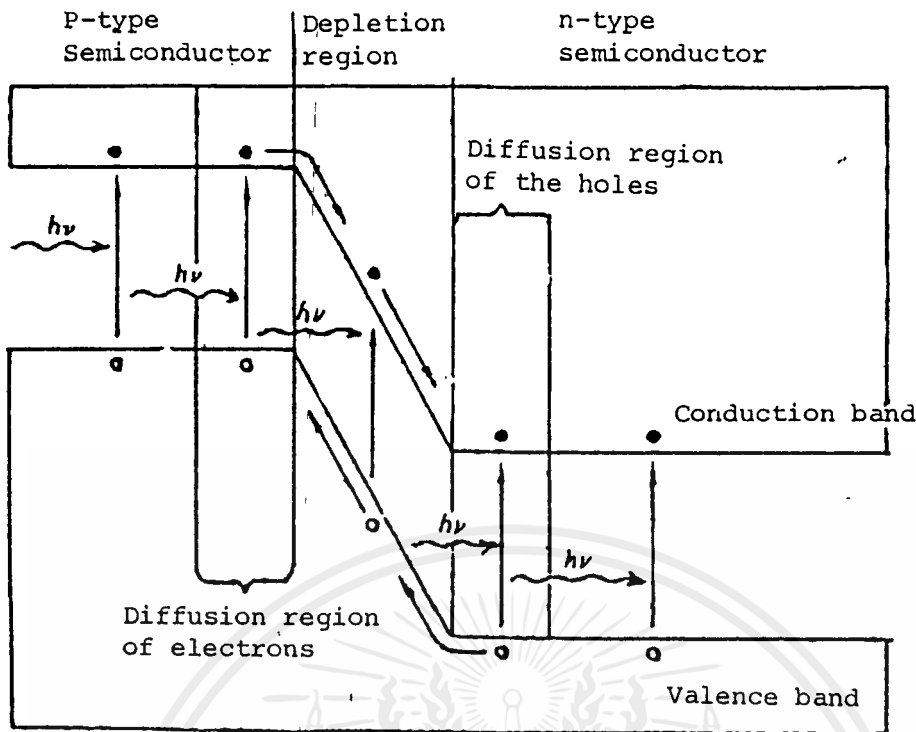
คุณลักษณะที่สำคัญสองประการของ Photodetector ก็คือ

1. Quantum Efficiency
2. Response Speed



รูปที่ 15. แสดงวงจร Pin Photodiode แบบป้อน Reverse Bias

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 16. แสดงการทำงานของ Reverse-bias Photodiode.

พารามิเตอร์ทั้งสองตัวนี้ขึ้นอยู่กับ Energy Gap ของวัสดุที่ใช้, ความยาวคลื่นที่ใช้งาน, การ Doping และความหนาของ p, i และ n region Quantum Efficiency () หาได้จาก

$$= \frac{\text{จำนวน Electron-hole Pairs ที่เกิดขึ้น}}{\text{จำนวนโฟตอนที่มาตกกระทบ}}$$

$$= \frac{I_p / q}{P_o / h}$$

I_p คือ Average Photocurrent ที่เกิดขึ้น

P_o คือ Steady-state Average Optical Power ที่มาตกกระทบ

สำหรับ Photodiode ในทางปฏิบัติ โฟตอน 100 ตัว จะทำให้เกิด Electron-hole pairs ระหว่าง 30-95 คู่ ดังนั้น quantum Efficiency มีค่าประมาณ 30-95% เพื่อให้ได้ Quantum Efficiency สูง ต้องให้ Depletion Layer หนาพอ จะได้มีการดูดกลืนแสงได้มาก แต่อย่างไรก็ตาม ยิ่ง Depletion Layer หนาเวลาที่ Carriers จะ Drift ข้าม reverse-biased Junction ก็ยิ่งยาวนาน เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการ Drift ของ Carriers มีผลต่อ Response Speed ของ photodiode ดังนั้นจะต้องให้เกิดความพอดิบกัน ระหว่าง Response Speed กับ - ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Quantum Efficiency

responsivity () มีความสัมพันธ์กับ Quantum Efficiency โดย

$$= \frac{I_p}{P_o} = e$$

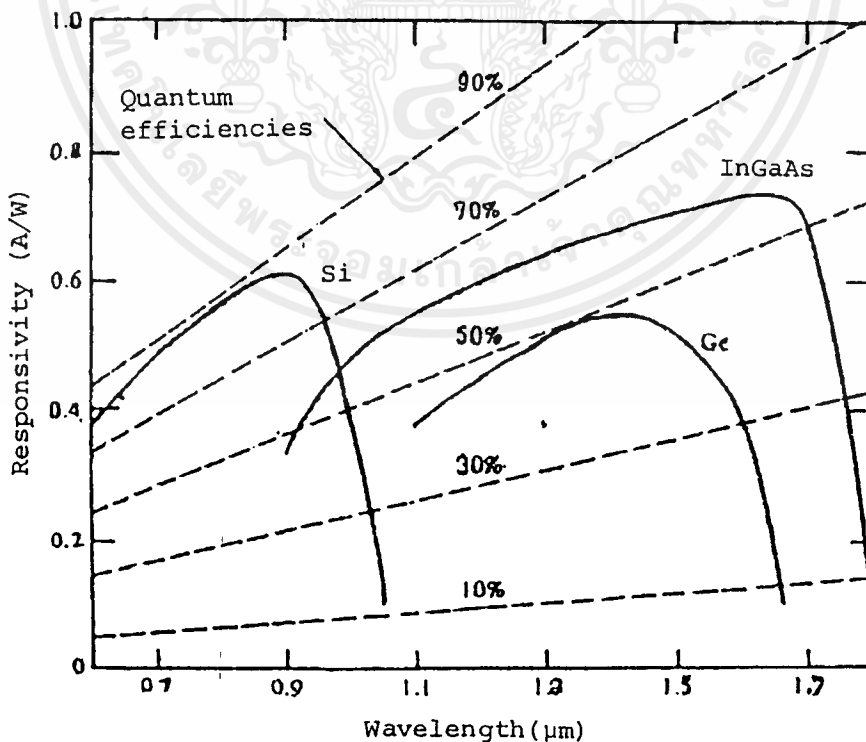
$$P_o \quad h$$

พารามิเตอร์ตัวนี้มีประโยชน์เพราะเป็นตัวแสดงถึง Photocurrent ที่เกิดขึ้นต่อหนึ่งหน่วยของกำลังงานแสง รูปที่ 17. แสดงค่า Responsivities ที่เป็น Function ของความยาวคลื่น จากรูป Si มี $= 0.65 \mu\text{A}/\mu\text{W}$ ที่ความยาวคลื่น 800 nm, Ge มี $= 0.45 \mu\text{A}/\mu\text{W}$ ที่ความยาวคลื่น 1.3 μm และ InGaAs มี $= 0.6 \mu\text{A}/\mu\text{W}$ ที่ความยาวคลื่น 1.3 μm

PIN Diode ที่มี I Layer ทำจาก Si จะมีความไวต่อแสงความยาวคลื่น 800-1,100 nm. ส่วน I Layer ที่ทำจาก InGaAs จะมีความไวต่อแสงความยาวคลื่น 1,300 nm.

ความถี่สูงสุดของการ Modulation ที่ตรวจจับได้จะขึ้นอยู่กับ ระยะเวลาในการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและ Hole ผ่านส่วนที่เป็น I-layer ความถี่ที่ทำให้ประสิทธิภาพของการเปลี่ยนพลังงานแสงลดลงไป 3 dB เรียกว่า Cut-off Frequency

PIN Diode สามารถทำให้มี Cut-off Frequency ได้หลาย GHz

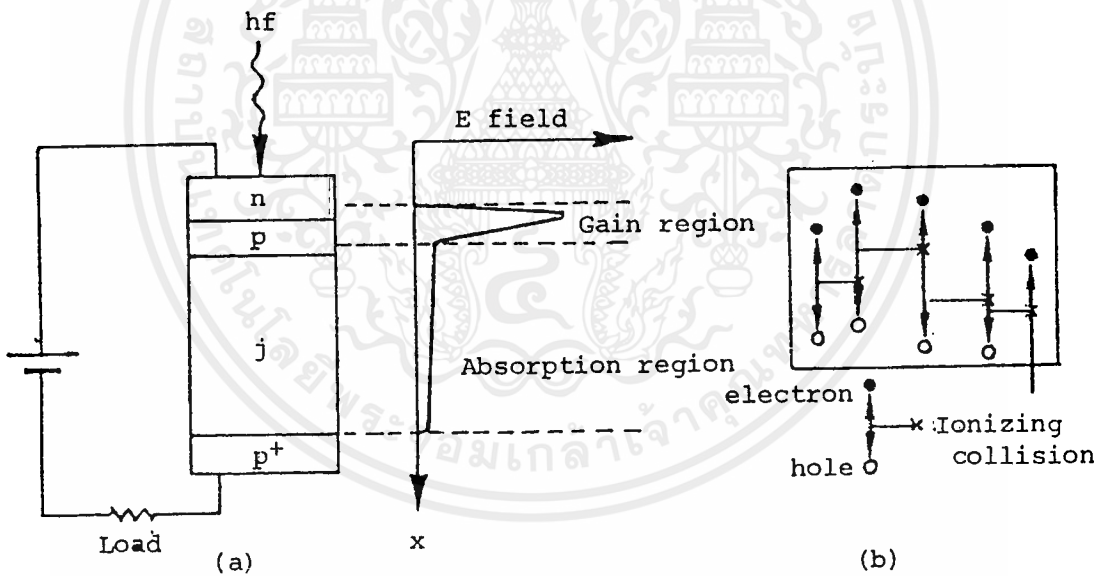


เอกสารนี้รูปที่ 17. แสดงการเปรียบเทียบ Responsivity และ Quantum Efficiencies ค่า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Avalanche photodiodes

ใน APDs Photocurrent ที่เกิดขึ้นจะได้รับการขยายภายใน APD เองก่อนที่จะออกไปสู่วงจรขยายภายนอก ทำให้ Receiver Sensitivity เพิ่มขึ้นเพราะ Photocurrent ได้รับการขยายก่อนที่จะมี Noise มารบกวน ในการทำให้เกิด Carrier Multiplication, Carriers ที่ถูกสร้างขึ้น จะเดินทางผ่านเข้าไปในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าสูง และ ในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าสูงนี้เอง อิเล็กตรอนและโฮล ที่เกิดขึ้นจะได้รับพลังงานสูงและวิ่งไปชนอิเล็กตรอนตัวอื่น ทำให้มี Electron-hole pair เกิดขึ้นใหม่ ซึ่งจะถูกร่งให้ไปชนกับอิเล็กตรอนตัวอื่น ๆ ได้อีก ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า "Avalanche effect" โดยวิธีนี้พลังงานแสงเพียงหนึ่งโฟตอนจะทำให้เกิด Electron-hole pair ได้มากถึง 80-100 คู่และทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรเป็นจำนวนมาก

โครงสร้างของ APD ที่ทำให้เกิด Carrier Multiplication เป็นโครงสร้างแบบ Reach-through construction ดังแสดงในรูปที่ 18.



รูปที่ 18. (a) แสดงการขยายของ Avalanche photodiode

(b) แสดง Carrier Pair Multiplication ในบริเวณที่มีการขยาย

PAPD (Reach-through Avalanche Photodiode) ประกอบด้วย High-resistivity p-type, p⁺ (Heavily Doped p-type), n⁺ (Heavily Doped n-type) และ i (Intrinsic) โครงสร้างแบบนี้เรียกว่า "p⁺ rpn⁺ Reach-through Structure"

เอกสารนี้เป็นเอกสาร Responsivity ของ APD สามารถคำนวณได้จาก
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$APD = \frac{M}{h \nu} = M$$

เมื่อ $\frac{1}{h \nu}$ คือ Unity Gain Responsivity

และ Multiplication Factor ของ APD (M) หาได้จาก

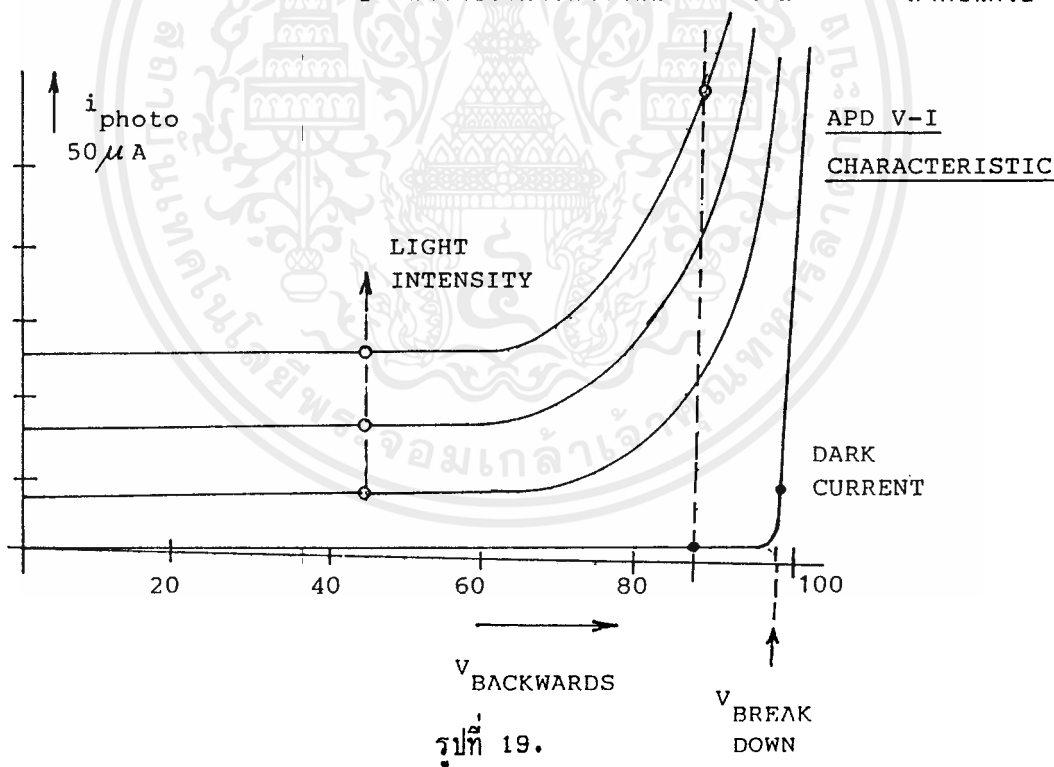
$$M = \frac{I}{I_p}$$

เมื่อ I คือ Total Output Current at Operating Voltage.

I_p คือ Initial or Primary Photocurrent

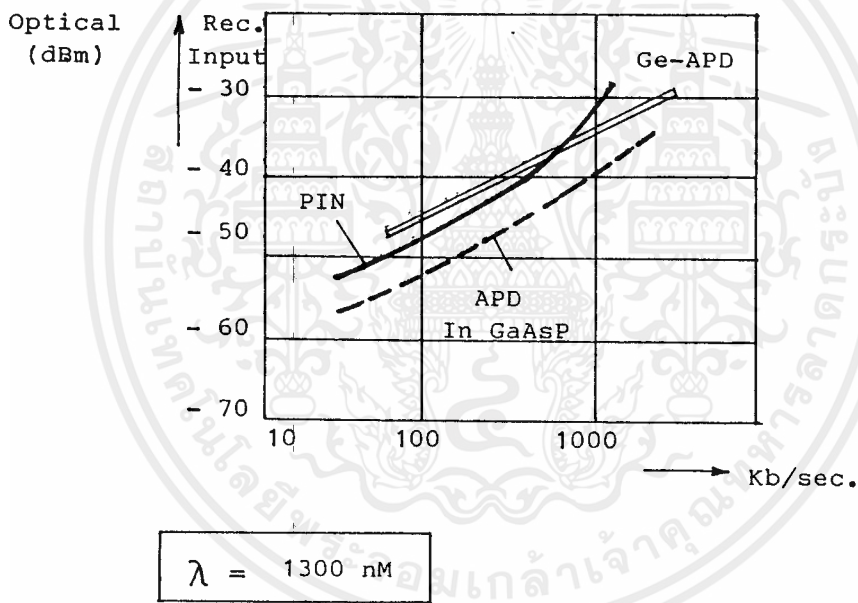
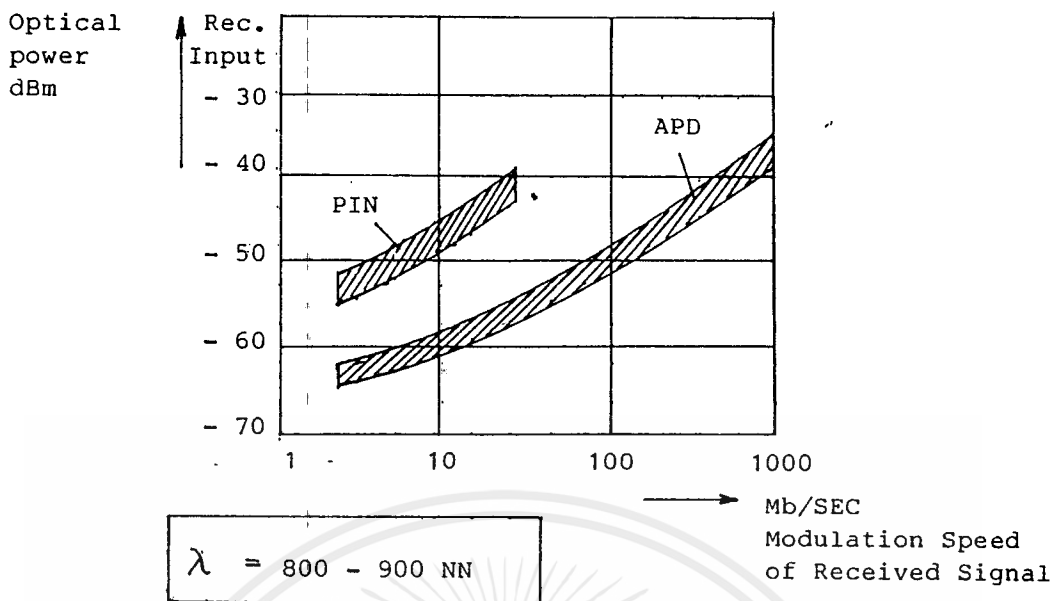
รูปที่ 19. แสดง Characteristic Curve ของ APD ซึ่งไวต่ออุณหภูมิเป็นอย่างมาก ดังนั้นในการใช้งานของ APD จึงต้องมีวงจรพิเศษเพื่อใช้ควบคุมการทำงานของ APD ด้วย

รูปที่ 19. APD จะมี Sensitivity สูงมาก ถ้าให้แรงดัน Reverse Bias มีค่าใกล้เคียงกับ Break Down Voltage แต่ในช่วงการทำงานนี้ APD จะมี Noise มากขึ้นด้วย



รูปที่ 20. แสดง Sensitivity ของ PIN และ APD เมื่อทำงานร่วมกับ Pre-amplifier โดยกำหนดความไวเอาไว้เมื่อ BER มีค่าเป็น 1×10^{-9}

APD ที่ทำด้วย Si จะใช้ได้กับแสงความยาวคลื่น 800-900 nm ส่วน APD ที่ทำด้วย Ge จะใช้กับแสงความยาวคลื่น 1,300 nm การศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 20.

Photodetector Noise

ในระบบสื่อสารเส้นใยแสง Photodiode จำเป็นต้องตรวจรับสัญญาณแสงที่มีความ
 แรงต่ำ ๆ ในการตรวจรับสัญญาณแสงที่มีความแรงต่ำที่สุดนั้น Photodetector และวงจรขยายจำเป็นต้อง
 ต้องคงค่า Signal-to-noise Ratio ที่กำหนดไว้ให้ได้ Power Signal-to-noise Ratio
 (S/N) ที่ Output ของเครื่องรับ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$S =$ Signal Power from Photocurrent

N Photodetector Noise Power + Amplifier Noise Power

Noise Sources ในเครื่องรับเกิดจาก Photodetector Noise ซึ่งเกิดขึ้นใน
ขบวนการ Photo-to-electron Conversion และ Thermal Noise ซึ่งเกิดขึ้นในวงจรขยาย

เงื่อนไขที่จะทำให้ S/N มีค่าสูง คือ

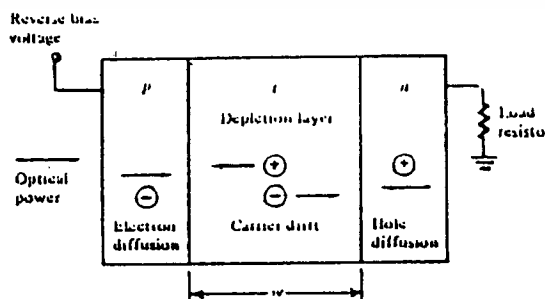
- 1) Photodetector จะต้องมีความ Quantum Efficiency สูง เพื่อสามารถให้กำเนิดสัญญาณที่มีกำลังแรงได้
- 2) จะต้องรักษาระดับ Noise ที่เกิดจาก Photodetector และ Amplifier ให้ต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

ในการประยุกต์ใช้งานส่วนใหญ่ Noise Current จะเป็นตัวกำหนดระดับพลังงานแสงสูงสุดที่สามารถตรวจจับได้ เพราะโดยทั่วไปแล้ว Quantum Efficiency ของ Photodiode จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าสูงสุด

Sensitivity ของ photodetector ในระบบสื่อสารเส้นใยแสงจะอธิบายในเทอมของกำลังงานแสงต่ำสุดที่สามารถตรวจจับได้ ซึ่งหมายถึงกำลังงานแสงที่จำเป็นต้องใช้ในการทำให้เกิด photocurrent มีขนาดเท่ากับค่า RMS (Root Mean Square) ของ Total Noise Current หรือ $S/N = 1$

Detector Response Time

เพื่อให้สามารถเข้าใจ Frequency Response ของ Photodiodes เราลองมาพิจารณา Reverse-biased PIN Photodiode ในรูปที่ 20.



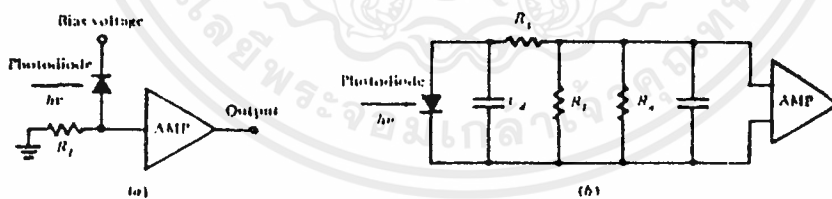
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่รูปที่ 21. ยานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสงที่ผ่านอุปกรณ์เข้ามาทาง P layer และถูกดูดกลืนในสารกึ่งตัวนำ จะทำให้เกิด Electron-hole pairs Electron-hole pairs ที่เกิดขึ้นภายใน Depletion Region หรือภายใน Diffusion Length จะถูกแยกออกจากกันโดยสนามไฟฟ้าที่เกิดจากอาร์ Reverse-bias ดังแสดงในรูปที่ 21. การ Drift ของ Carriers ข้าม Depletion layer ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรภายนอก

ได้สภาวะ Steady-state ความหนาแน่นกระแส (J_{tot}) ที่ไหลผ่าน Reverse-biased Depletion layer ทั้งหมด คือ

$$J_{tot} = J_{dr} + J_{diff}$$

- J_{tot} คือ Total Current Density
- J_{dr} คือ Drift Current Density ซึ่งเป็นผลมาจาก Carriers ที่ถูกสร้างขึ้นใน Depletion Region
- J_{diff} คือ Diffusion Current Density ซึ่งเป็นผลมาจาก Carriers ที่ถูกสร้างขึ้นภายนอก Depletion Region (คือ n และ p Region) และ Diffuse เข้ามาใน Reverse-biased Junction



รูปที่ 22. แสดง Simple Receiver model และ (b) วงจรสมมูล ซึ่งประกอบด้วย

- R_s - Series Resistance ของ Photodiode
- C_{jpd} - Junction and Packaging Capacitance ของ Photodiode
- R_L - Load (Bias) Resistor
- C_{in} - Input Capacitance ของ Amplifier
- R_{in} - Input Resistance ของ Amplifier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนในทางปฏิบัติ $R_s \ll R_{in}$ สามารถละทิ้งได้อ่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Response time ของ Photodiode ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ 3 อย่าง คือ

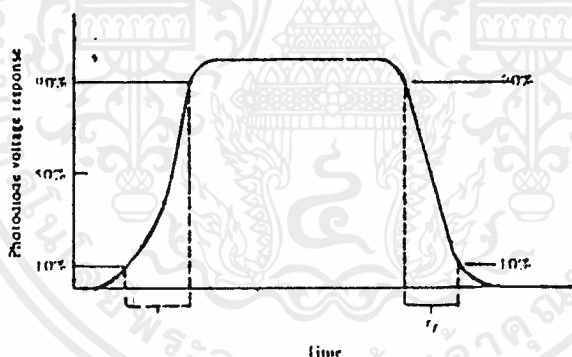
1. Transit Time ของ Photocarriers ใน Depletion Region
2. Diffusion Time ของ Photocarriers ภายนอก Depletion Region
3. RC Time Constant ของ Photodiode และวงจรที่เกี่ยวข้อง

พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของ Photodiode ที่ตอบสนองต่อองค์ประกอบทั้ง 3 นี้ คือ

(Absorption coefficient), Depletion Region Width W_d , C_{diff} , C_j , R_L และ R_u




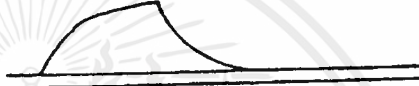

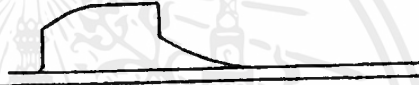


Response Time มักจะอธิบายในเทอของ Rise Time และ Fall Time

ของ Detector Output เมื่อได้รับ input ที่เป็น Step ดังแสดงในรูปที่ 4.44 Rise Time () วัดจากจุด 10-90% ของ Leading edge ของ output Pulse และ Fall Time () วัดจากจุด 90-10% ของ Falling Edge ของ output Pulse



รูปที่ 23. Pulse Response ของ Photodiode

แสดง 10 ถึง 90 % Rise Time และ 90 ถึง 10 % Fall Time

Device Parameters	Response to Impulse	Response to Long Pulse
$L_a \ll W_d$ C_{dep} small		
$L_a \ll W_d$ C_{dep} larger		
$L_a \ll W_d$ C_{dep} small T_{re} small		
$L_a \ll W_d$ C_{dep} small T_{re} larger		

รูปที่ 24. แสดง Pulse Responses ของ Photodiode

L_a = Absorption length

W_d = Depletion layer Capacitance

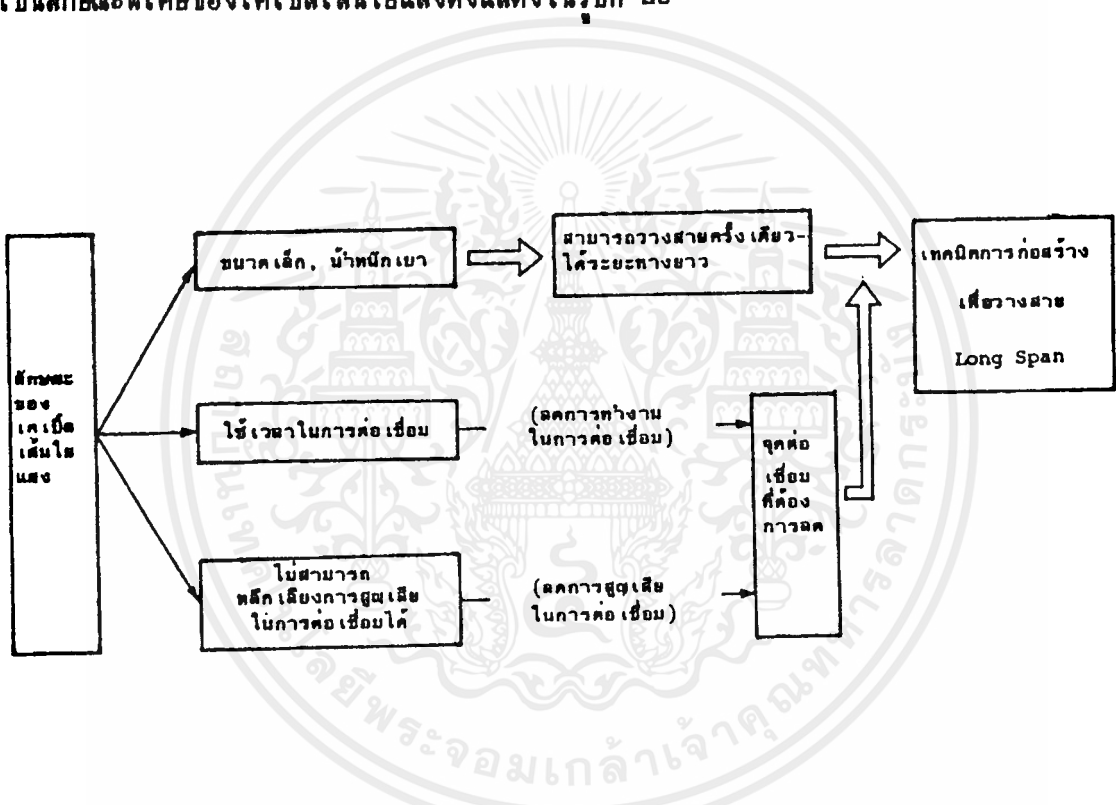
T_{re} = Semiconductor Recombination Line

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวางแผนเส้นใยแสง

- การวางแผนเส้นใยแสงแบบช่วงระยะยาว (Long span)

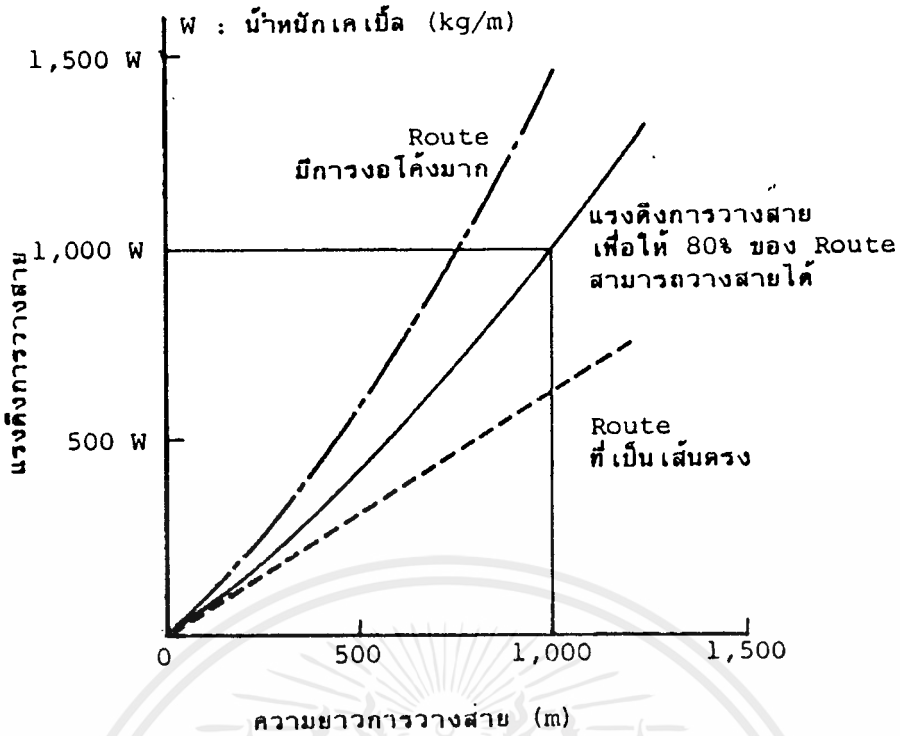
เคเบิลเส้นใยแสงในกรณีที่วางในท่อ (duct) ที่จัดทำเอาไว้ได้ทนกับกรณีที่ชนกับเสาไฟฟ้า เคเบิลเส้นใยแสงที่ใช้กับ Trunk network เพื่อต่อระหว่างชุมสายโทรศัพที่นั้น ตามหลักการแล้วจะ ใช้วิธีการวางแผนเส้นใยแสงในท่อ เทคนิคการวางสายเคเบิล เป็นสิ่งที่ส่วนใหญ่มีแนวความคิด เบื้องต้นเหมือนกันกับเทคนิคการวางสายเคเบิลที่ทำด้วยโลหะที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน แต่มีบางอย่างที่พัฒนา ให้เป็นลักษณะพิเศษของเคเบิลเส้นใยแสงดังแสดงในรูปที่ 25



รูปที่ 25 ลักษณะพิเศษของเทคนิคการสร้างเคเบิลเส้นใยแสง

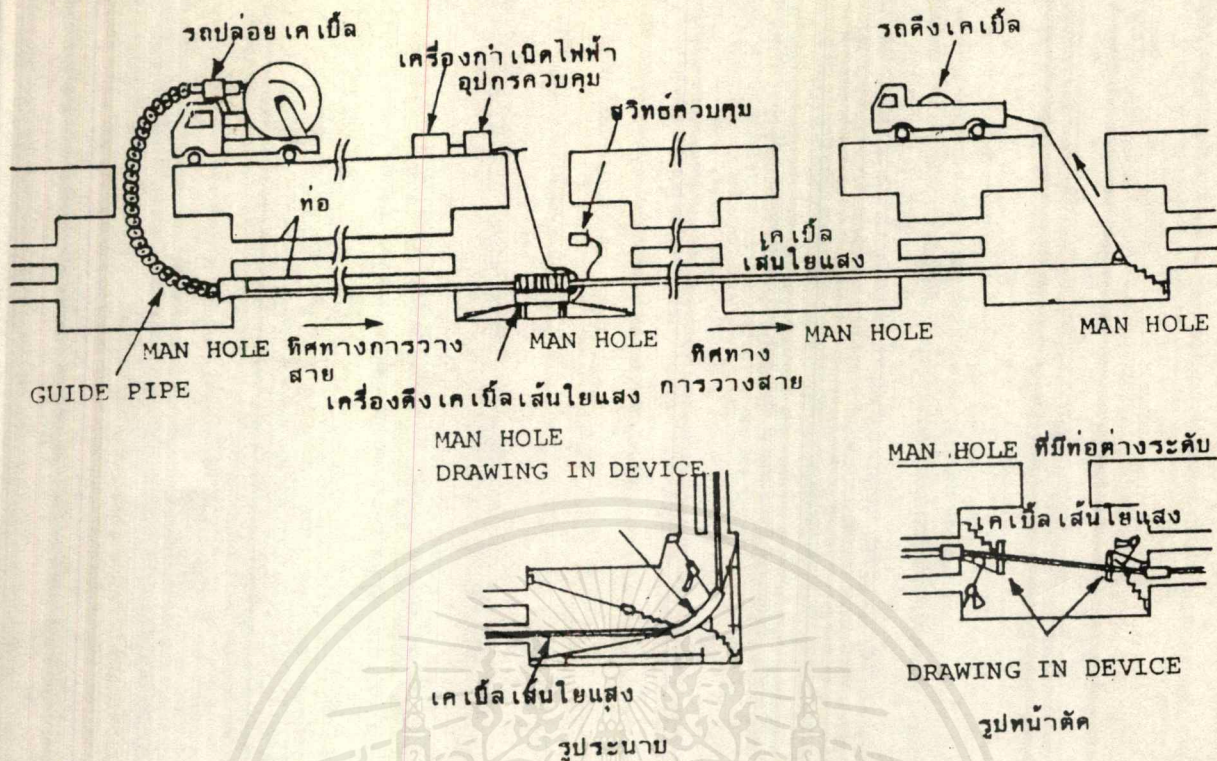
นั่นคือทำให้เคเบิลเส้นใยแสงมีเส้นผ่าศูนย์กลางเล็ก, น้ำหนักเบา, เป็นผลให้สามารถวางสายแต่ละครั้งได้เป็นระยะทางที่ยาวมาก (Long span) อนึ่งงานการต่อเชื่อมเคเบิลเส้นใยแสงเมื่อเทียบกับเคเบิลที่ทำด้วยโลหะแล้วจะใช้เวลาในการปฏิบัติงานมากกว่า นอกจากนั้นเนื่องจากว่าไม่สามารถหลีกเลี่ยงการเพิ่มขึ้นของการสูญเสียจากการเชื่อมต่อที่เกิดขึ้นตรงจุดเชื่อมต่อเส้นใยแสงได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องพยายามทำให้จำนวนของจุดเชื่อมต่อมีน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ ด้วยเหตุนี้จึงต้องมุ่งไปที่เทคนิคที่ทำให้สามารถวางเคเบิลเส้นใยแสงหนึ่งครั้งได้เป็นระยะทางยาวมาก (Long span) เงื่อนไขจำกัดที่

จะต้องคำนึงถึงในการกำหนดความยาวการวางแผนเคเบิลเส้นใยแสง ดังแสดงในรูปที่ 26 โยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



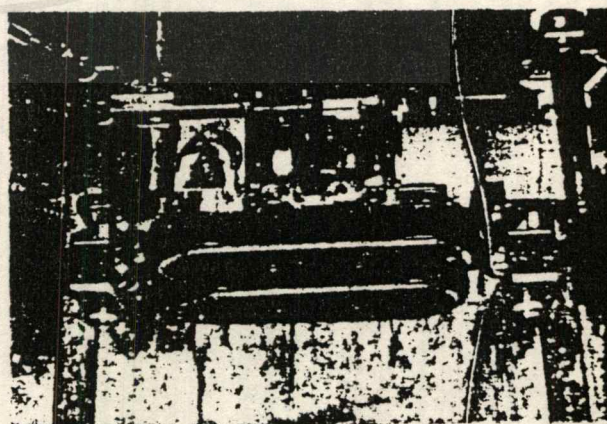
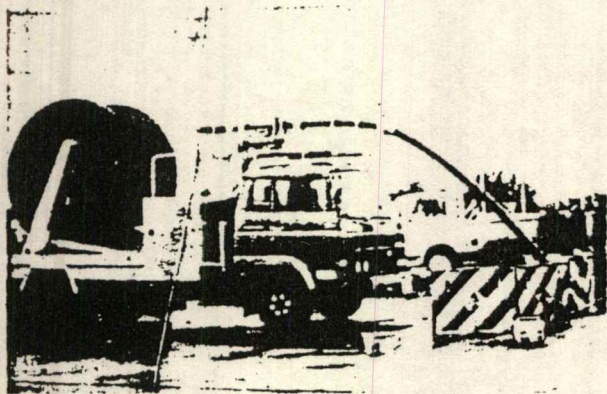
รูปที่ 27 แสดงความยาวการวางสายกับแรงดึงในการวางสายของเคเบิลเส้นใยแสง

หรืออาจกล่าวอีกอย่างหนึ่งก็คือ จะต้องทำการออกแบบโครงสร้างของ Tension member (ตัวต้านแรงดึง) ให้มีการยืดต่ำกว่า 0.2 % คมื่อได้รับแรงดึงนี้ (ถ้าการยืดมีค่าอยู่ในช่วงนี้แล้วจะไม่ทำให้เกิดผลเสียหายแก่เส้นใยแสงโดยตรง) อนึ่งสำหรับกรณีที่เส้นทาง (route) ของเคเบิลมีความโค้งงอมาก และมีรูปร่างสลับซับซ้อนนั้น แรงดึงที่ให้จะกระทำต่อปลายของเคเบิลเท่านั้น กรณีนี้แรงดึงอาจจะเกินแรงดึงที่ยอมให้มิได้ของเคเบิล (ในช่วงประมาณ 20 % ของเส้นทางทั้งหมด) ดังนั้นจึงต้องใช้วิธีติดตั้งเครื่องดึงเคเบิล (Cable tractor) ระหว่างทางหรือวิธีอื่น ๆ เข้าช่วยด้วย อนึ่งสำหรับข่ายสาขาผู้ใช้ (Subscriber network) ที่ต่อระหว่างบ้านและที่ทำงานนั้นโดยทั่วไปจะใช้วิธีค่อย ๆ ลดจำนวนเส้นใยแสงของเคเบิลตามระยะทางที่เพิ่มขึ้นจากชุมสายโทรศัพท์ เพื่อให้เหมาะกับการกระจายบริการต่าง ๆ ที่ต้องการ ด้วยเหตุนี้ทำให้ Subscriber network แตกต่างกับกรณีของ Trunk network และเนื่องจากเกิดความจำเป็นที่จะต้องตั้งจุดต่อที่ระยะสั้นมาก ทำให้ความยาวการวางสายเคเบิลเส้นใยแสงมีค่าน้อย แรงดึงที่ยอมให้มิได้ในเคเบิลเส้นใยแสงตามสภาพเช่นนี้จะใช้ค่าที่ตรงกับน้ำหนักเคเบิลที่ยาวเพียง 800 เมตร รูปที่ 28 แสดงวิธีการโดยสังเขปของระบบการวางเคเบิลเส้นใยแสงที่มีระยะช่วงยาว (Long span)



รูปที่ 28 ระบบการวางสายเคเบิลเส้นใยแสงที่มีระยะช่วงยาว (Long span)

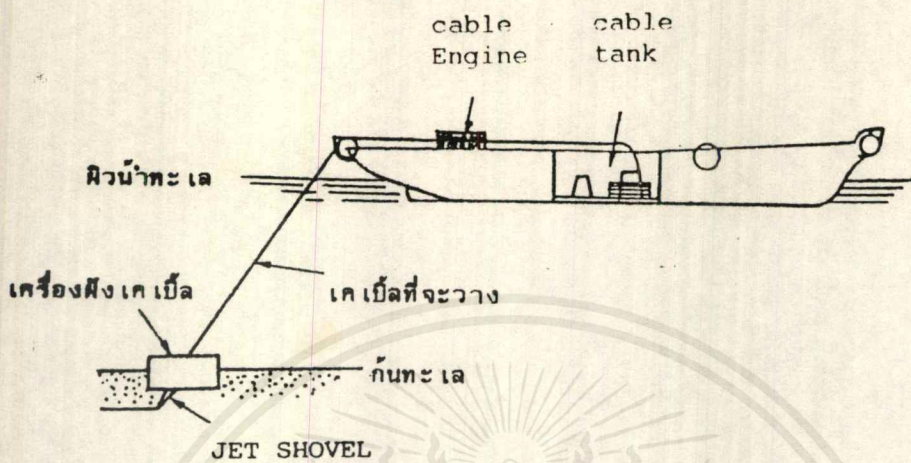
สำหรับรูปที่ 29 แสดงสภาพขณะปฏิบัติงานการวางสายจริง ๆ นอกจากนี้การวางสายเคเบิลเส้นใยแสงใต้น้ำนั้นจะทำการวางสายโดยเรือแบบพิเศษที่สร้างขึ้นมา เพื่องานการวางสายเคเบิลใต้น้ำโดยเฉพาะ ดังแสดงในรูปที่ 30 กรณีที่ทำการวางสายเคเบิลใต้น้ำถ้าเป็นทะเลตื้นเพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้เคเบิลได้รับอันตรายจากการจับปลา (ประมง), การทอดสมอของเรือและอื่น ๆ จะใช้วิธีฝังสายเคเบิลเอาไว้ใต้ทราย



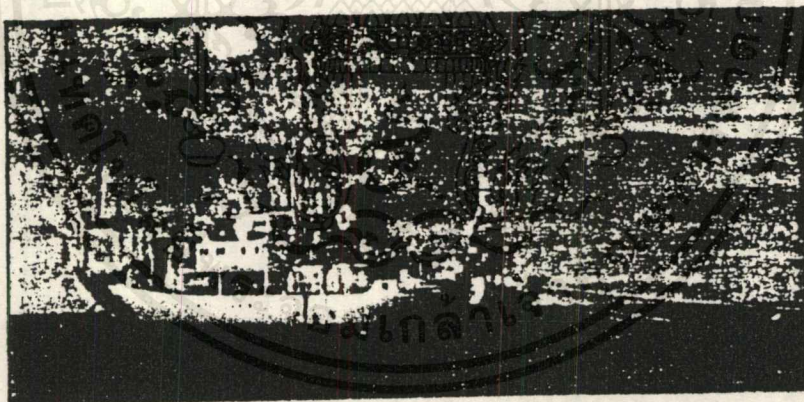
(a) แสดงสภาพการวางสายในท่อ

(b) แสดงเครื่องช่วยดึงสาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 29 งานวางสายเคเบิลในท่อ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) แสดงการวาง Optical Fiber cable ด้วยเรือวางเคเบิลใต้น้ำ



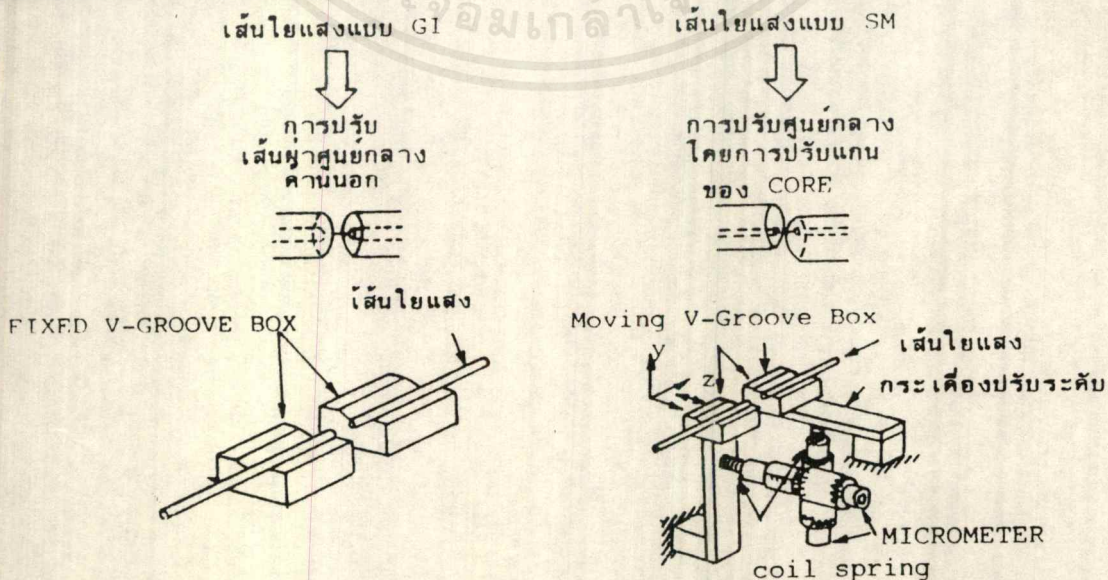
(b) แสดงเรือวางเคเบิลใต้น้ำขณะกำลังปฏิบัติงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 30 การวางสายเคเบิลใยแสงใต้น้ำ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ระบบการต่อเชื่อมเส้นใยแสง

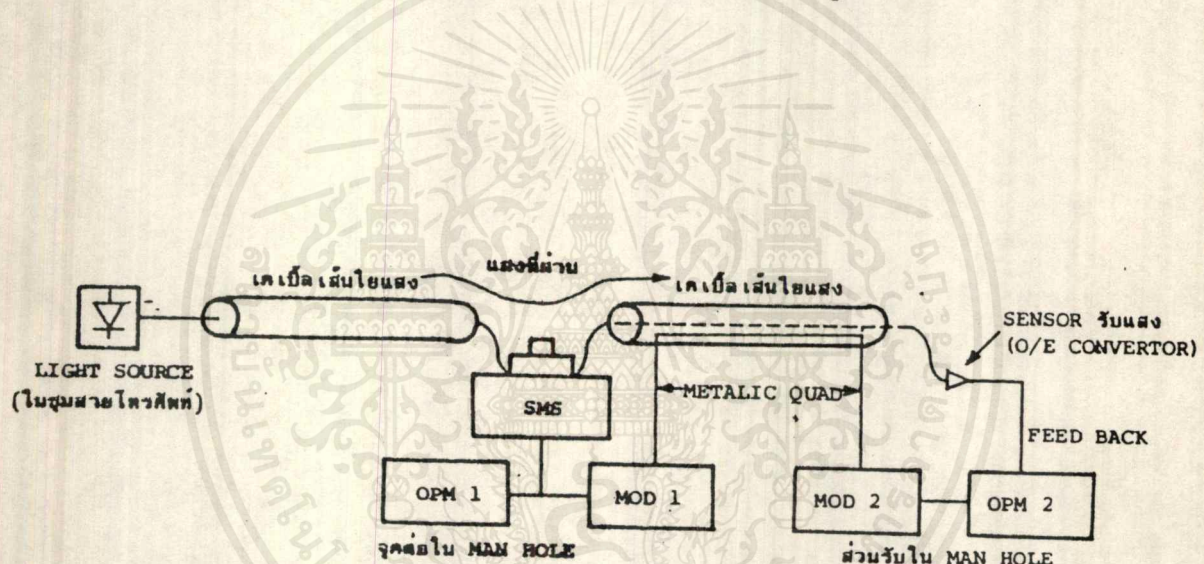
ในการต่อเชื่อมเส้นใยแสงนั้นมี 2 วิธีคือ การต่อเชื่อมแบบใช้เปลวไฟหลอม (Electric arc fusion) กับแบบใช้ Connector แต่ในที่นี้จะพูดถึงระบบการต่อเชื่อมแบบใช้เปลวไฟหลอมที่ใช้กันมากในงานการสร้างระบบจริง

เส้นใยแสงแบบ GI-type เนื่องจากเส้นผ่าศูนย์กลางของ core ของมันโตมากขนาดหลายสิบลม (ตามคำแนะนำของ CCITT มีค่า 50 μm) แม้จะคำนึงถึงเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของจุดศูนย์กลางในขั้นตอนการผลิตที่มีค่าประมาณ 6 % ซึ่งเป็นกรณีที่เลวที่สุดก็ตามแต่ถ้าเพียงแต่ปรับเฉพาะเส้นผ่าศูนย์กลางของ Clad เท่านั้น การเพิ่มขึ้นของการสูญเสียของการต่อเชื่อมอันเนื่องมาจากความคลาดเคลื่อนตามแนวแกนของ core ส่วนใหญ่จะมีค่าที่ไม่เป็นปัญหาแต่อย่างใดในการใช้งาน ดังนั้นการต่อเชื่อมแบบใช้เปลวไฟหลอมของเส้นใยแสงแบบ GI-type จะใช้วิธีการต่อโดยนำเอาเส้นใยแสงที่ปลอกเอาวัสดุหุ้มภายนอกออกแล้ววางลงไปร่องรูปตัววี (V-groove) ซึ่งมีแนวแกนคงที่อยู่ในแนวตรงกัน จากนั้นจึงทำการปรับเฉพาะเส้นผ่าศูนย์กลางของ clad ให้ชนตรงกับส่วนเส้นใยแสงแบบ SM-type เนื่องจากมีเส้นผ่าศูนย์กลางของ core เล็กมากขนาด 10 μm ดังนั้นการปรับเฉพาะเส้นผ่าศูนย์กลางของ clad อย่างเดียวนั้นเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของจุดศูนย์กลางที่ยอมรับไม่ได้ในขั้นตอนการผลิตจะมีผลอย่างมากต่อการเพิ่มขึ้นของการสูญเสียของการเชื่อมต่อ จึงให้เป็นระบบการเชื่อมต่อในทางปฏิบัติไม่ได้ ดังนั้นสำหรับการต่อเชื่อมเส้นใยแสงแบบ GI-type จะใช้อุปกรณ์ช่วยปรับเส้นผ่าศูนย์กลางของ clad (V-groove) เท่านั้น แต่ส่วนเส้นใยแสงแบบ SM-type จะใช้อุปกรณ์ต่อเชื่อมที่มีการทำงานเพื่อปรับแกนของเส้นใยแสงให้ตรงกันได้ (นั่นคือการทำงานปรับร่องรูปตัววีให้เคลื่อนที่ไปในทิศทางแนวแกน X และแกน Y ได้ โดยการควบคุมของ Microprocessor ดังแสดงในรูปที่ 31 สำหรับวิธีการปรับแกนนี้มี 2 แบบดังต่อไปนี้คือ



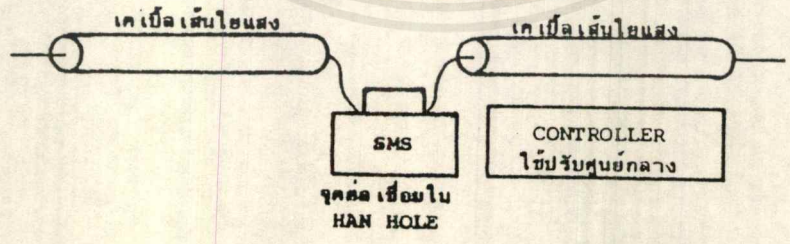
รูปที่ 31 การปรับแนวแกนของเส้นใยแสงแบบ GI-type และแบบ SM-type

ระบบการต่อเชื่อมเส้นใยแสงที่ใช้วิธี Power monitor method เป็นระบบที่ตรวจกำลังแสง โดยตรงที่ส่วนล่างของจุดต่อเชื่อม ดังแสดงในรูปที่ 32 (a) แล้วทำการปรับแนวแกนของ core ให้ตรงกันอย่างอัตโนมัติงานการต่อเชื่อมวิธีนี้จะต้องปฏิบัติงาน 3 จุดด้วยกันคือ ที่แหล่งกำเนิดแสง, ส่วนต่อเชื่อมและส่วนรับแสง สำหรับระบบการต่อเชื่อมเส้นใยแสงที่ใช้วิธี core viewing method แสดงดังรูปที่ 32 (b) สามารถปฏิบัติงานการต่อเชื่อมเพียงจุดเดียวคือตรงจุดที่จะกระทำการต่อเชื่อมเท่านั้น ทำให้สามารถลดจำนวนคนปฏิบัติงานได้ แต่ว่าเนื่องจากการต่อเชื่อมที่ใช้วิธี core viewing method ต่างกับวิธี power monitor method กล่าวคือไม่สามารถได้ค่าการสูญเสียที่แท้จริงของการต่อเชื่อมจากที่ทำการต่อเชื่อมได้ (ดูรูป 32 (b) ประกอบ) จึงใช้วิธีคาดคะเนการสูญเสียของการต่อเชื่อมจากสภาพของ core ที่ถูกต่อเชื่อมอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการต่อเชื่อมเส้นใยแสงด้วยวิธี core viewing method และภาพของด้านปลายของเส้นใยแสงที่ปรากฏบนจอสโคป ดังรูป 33



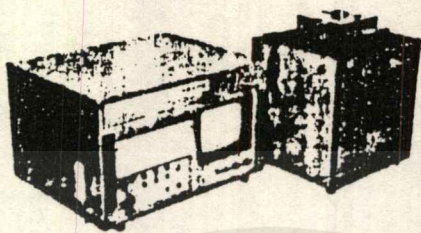
MOP : OPTICAL POWER METER
 MOD : MODEM ให้ FEED BACK POWER ที่ MONITOR ออกมา
 SMS : SINGLE MODE SPLICING MACHINE

(a) POWER MONITOR METHOD

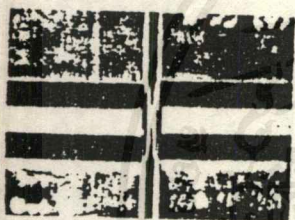


(b) CORE DIRECT VIEWING METHOD

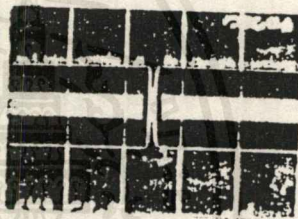
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนรูปที่ 32 ระบบการต่อเชื่อมเส้นใยแสงแบบ SM-type ำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



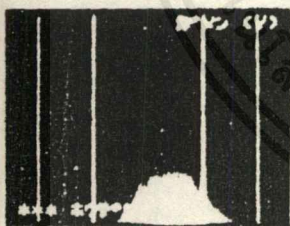
(a) ลักษณะคานนอกของเครื่องต่อเชื่อมเส้นใยแสง



① ตรวจสอบความสกปรกหน้าตัด



② ปรับศูนย์กลางของ CORE AXIS



③ แสดงเปลวไฟและการหลอมติด

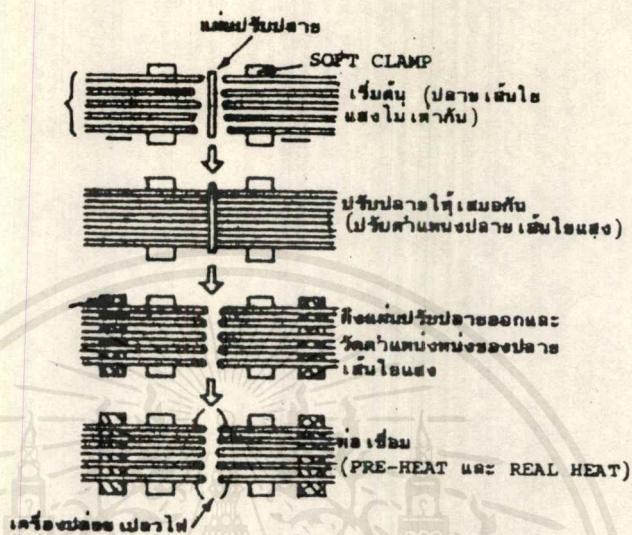


④ แสดงค่าสูญเสียประมาณหลังต่อเชื่อม

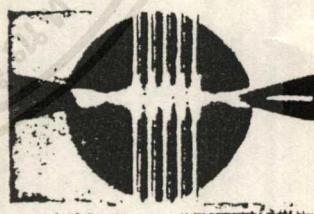
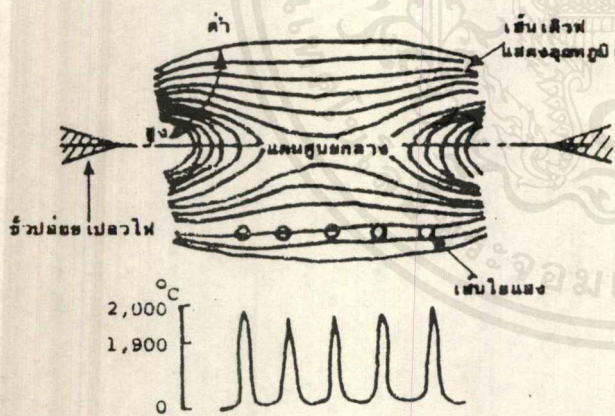
(b) แสดงภาพ MONITOR ของปลายเส้นใยแสง

รูปที่ 33 แสดงอุปกรณ์การต่อเชื่อมที่ใช้วิธี core viewing method

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) ลำดับการต่อเชื่อมเส้นใยแสงแบบ เทป 5 เส้น



(b) ตำแหน่งที่เหมาะสมของเส้นใยแสงเพื่อการกระจายอุณหภูมิของเปลวไฟและการให้ความร้อนสม่ำเสมอ

(c) แสดงช่วงเวลาการต่อเชื่อมเส้นใยแสงหลายเส้นพร้อมกัน

นอกจากนี้ในกรณีของเส้นใยแสงแบบ GI-type ก็เช่นกัน สำหรับเคเบิลของข่ายสายผู้ใช้ (subscriber network) ที่มีความต้องการมากจะใช้เคเบิลแบบ Tape ที่รวมเส้นใยแสง 5 เส้นเข้าด้วยกันแล้วหุ้มด้วยวัสดุหุ้มชั้นที่ 2 (Secondary cover) กรณีที่ทำการเชื่อมต่อเส้นใยแสงแบบ Tape 5 เส้นนี้ จำเป็นต้องทำการต่อเชื่อมพร้อมกันโดยจัดให้ส่วนปลายของเส้นใยแสงทั้ง 5 เส้นยาวเท่ากันทั้งหมดและสภาพการให้ความร้อนโดย Arc discharge นั้นจำเป็นต้องสม่ำเสมอเท่ากันทั้ง 5 เส้นด้วยเหตุนี้จึงต้องใช้เครื่องต่อเชื่อมที่จัดทำเป็นพิเศษ ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานดังแสดงในรูปที่ 34 กล่าวคือรูป 34 (a) เป็นการดันให้ปลายของเส้นใยแสงทุกเส้นแตะกับแผ่นปรับปลายเส้นใยแสง ขั้นตอนนี้เป็น การปรับตำแหน่งของปลายเส้นใยแสงทุกเส้นให้เท่ากันหมด รูป 34(b) แสดงการกระจายอุณหภูมิของสภาพที่กำลังปล่อยประจุไฟฟ้า (discharge) ในการที่จะทำการให้ความร้อนแก่เส้นใยแสงทั้ง 5 เส้น เป็นไปอย่างสม่ำเสมอจะต้องจัดวางเทพของเส้นใยแสงในตำแหน่งที่อยู่ห่างจากแกนศูนย์กลางของขั้วไฟฟ้า (electrode) เล็กน้อย ส่วนรูปที่ 34 (c) แสดงเปลวไฟในขณะที่ทำการเชื่อมเส้นใยแสงพร้อมกันหลาย ๆ เส้น

การวัดคุณสมบัติต่าง ๆ ในการส่ง

ในระบบการสื่อสารเส้นใยแสงนั้น นอกเหนือจากความต้องการสารที่ใช้ทำเส้นใยแสงเป็นแก้วซึ่งไม่มีควมนำไฟฟ้า สัญญาณที่จะทำการส่งเป็นแสงที่มีความยาวคลื่นสั้นมาก และอุปกรณ์ที่ใช้ในการเปลี่ยนไฟฟ้าเป็นแสงหรือเปลี่ยนแสงเป็นไฟฟ้าแล้ว การประเมินคุณสมบัติการส่งยังแตกต่างไปจากระบบการสื่อสารที่ใช้เคเบิลทำด้วยโลหะ ในที่นี้จะกล่าวเกี่ยวกับวิธีการวัดการสูญเสียแสง เพื่อประเมินคุณสมบัติการส่งของส่วนประกอบแต่ละอันที่ประกอบกันเป็นระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสงการวัดคุณสมบัติ Base band frequency, การวัดคุณสมบัติอุปกรณ์กำเนิดแสง, อุปกรณ์รับแสง และวิธีการวัดคุณสมบัติตลอดทั้งระบบ

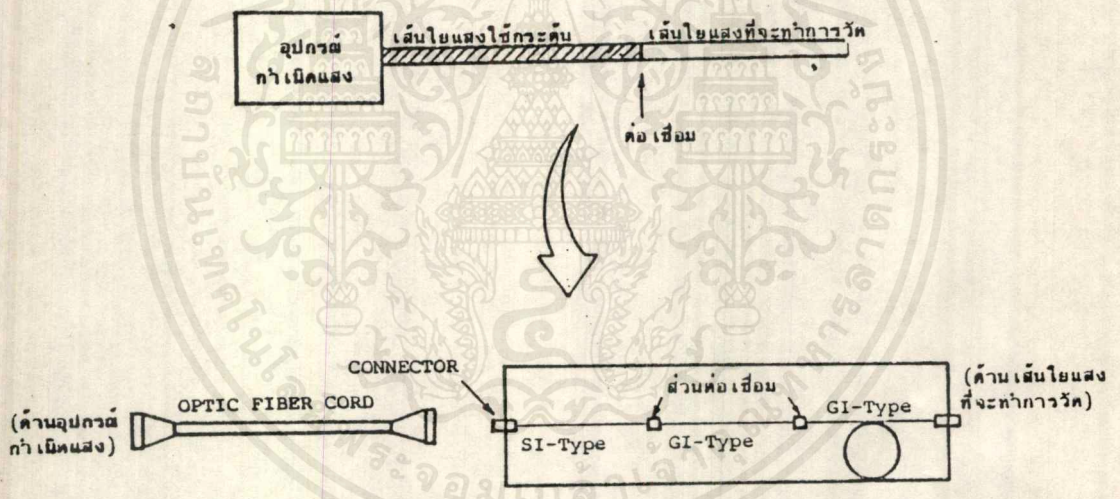
- การวัดการสูญเสียแสง

การสูญเสียแสงเป็นการแสดงปริมาณการลดลงเมื่อสัญญาณแสงเดินทางในเส้นใยแสงและเป็นการแสดงค่า logarithm ของอัตราส่วนกำลังของแสงที่ป้อนเข้าไปในเส้นใยแสงกับกำลังของแสงที่ออกมาจากปลายอีกด้านหนึ่งของเส้นใยแสง ดังแสดงด้วยสมการต่อไปนี้

$$\text{การสูญเสียแสง (Optical loss)} = -10 \log_{10} (\text{output optical power} / \text{input optical power}) \dots \dots \dots (\text{dB})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับเส้นใยแสงแบบ GI-type นั้นเนื่องจากมี Propagation Mode อยู่จำนวนมากจะเกิดการเปลี่ยน mode และจะมีค่าที่วัดได้แตกต่างกันตามสถานการณ์ป้อนแสง ดังนั้นจึงมีความต้องการที่จะทำให้เงื่อนไขการป้อนแสงคงที่เพื่อไม่ให้เกิดการกระจายกำลังแสงของ Propagation Mode แต่จะอันเปลี่ยนแปลงแม้ว่าจะเดินทางในเส้นใยแสงก็ตาม เพื่อให้ได้เงื่อนไขดังที่กล่าวนี้จะใช้เส้นใยแสงที่มีลักษณะพิเศษ ซึ่งมีจุดประสงค์ที่จะทำให้ Propagation Mode ไม่เปลี่ยนแปลง ดังแสดงในรูปที่ 35 เส้นใยแสงพิเศษนี้เรียกว่า Exciter หรือเส้นใยแสงที่ใช้กระตุ้นเส้นใยแสงแบบ SM-type นั้นมี Propagation Mode 1 อันเท่านั้น นอกจากนี้แม้ว่าที่ด้านป้อนแสงเข้าของเส้นใยแสงแบบ SM-type จะเกิด Propagation Mode ที่มีลำดับสูงก็ตาม มันจะลดลงในเวลาอันรวดเร็ว สามารถที่จะตัดทิ้งไปได้ว่าไม่มี Propagation Mode ลำดับสูงเมื่อมันเคลื่อนที่ไปได้ประมาณ 1 เมตร ด้วยเหตุนี้ในการวัดการสูญเสียเส้นใยแสงแบบ SM-type เนื่องจากสถานการณ์ป้อนแสงเข้าไม่มีปัญหาเท่าใดนักจึงใช้เส้นใยแสงแบบ SM-type ยาวประมาณ 1-2 เมตร เป็น Exciter



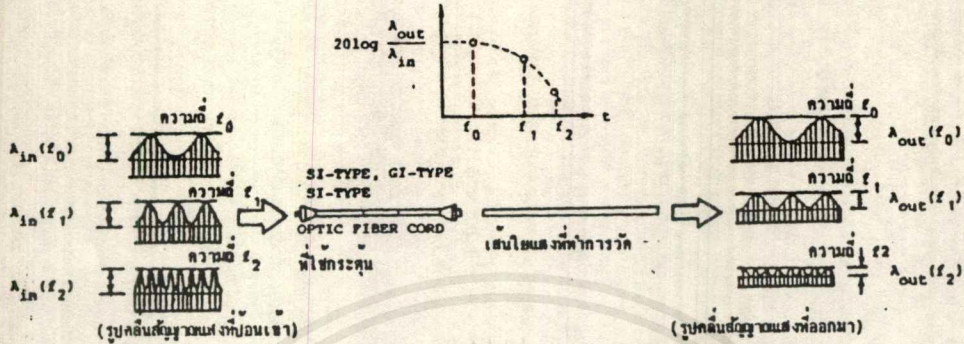
รูปที่ 35 แสดงระบบการวัดการสูญเสียแสงที่ใช้เส้นใยแสงเป็น Exciter

- การวัดคุณสมบัติ Base band frequency

สำหรับเส้นใยแสงแบบ SM-type เนื่องจากตามทฤษฎีแล้วไม่มี mode dispersion จึงมี bandwidth กว้างมาก ดังนั้นในการใช้งานขีดจำกัดของ bandwidth จึงไม่ค่อยมีปัญหาเพราะฉะนั้น การวัดคุณสมบัติ Base band frequency จึงใช้กับเส้นใยแสงแบบ GI-type เท่านั้น วิธีการวัดส่วนใหญ่จะใช้วิธี Frequency sweep method กล่าวคือจะป้อนสัญญาณแสงที่ถูกผสมทางความเข้มแสง

(Intensity modulation) ด้วยคลื่นรูป sine wave ให้แก่เส้นใยแสงที่จะทำการวัดและนำขนาดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าของสัญญาณ sine wave ของสัญญาณแสงนั้นกับขนาดของสัญญาณ sine wave ของสัญญาณแสงที่ออกไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากนำไปใช้

มาหลังจากเดินทางในเส้นใยแสงไปเปลี่ยนเป็นความถี่พร้อมทั้งทำการวัดไปด้วย จากอัตราส่วนของความถี่ของสัญญาณ sine wave ทั้งสองนำไปหาคุณสมบัติของ Base band ได้ (หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าเป็นการวัดย่านความถี่ : Frequency region) วิธีการวัดคุณสมบัติ Base band frequency ด้วย Frequency sweep method แสดงดังรูปที่ 36



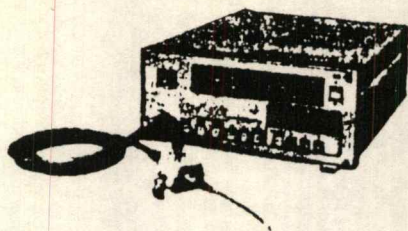
รูปที่ 36 การวัดคุณสมบัติ Base band ด้วย Frequency sweep method

6 dB Bandwidth ที่เป็นมาตรฐานในการออกแบบเส้นใยแสงแบบ GI-type นั้นจะมีค่าประมาณหลายร้อย MHz.Km แต่ทว่าเป็นที่ทราบกันคืออยู่แล้วว่าช่วงความถี่นี้ปริมาณการลดทอนจะเป็นสัดส่วนกับความถี่กำลังสอง ดังนั้นโดยการทำการวัดความถี่ก็จะสามารถประเมินค่า 6 dB Bandwidth ได้

- การวัดคุณสมบัติของอุปกรณ์กำเนิดแสง

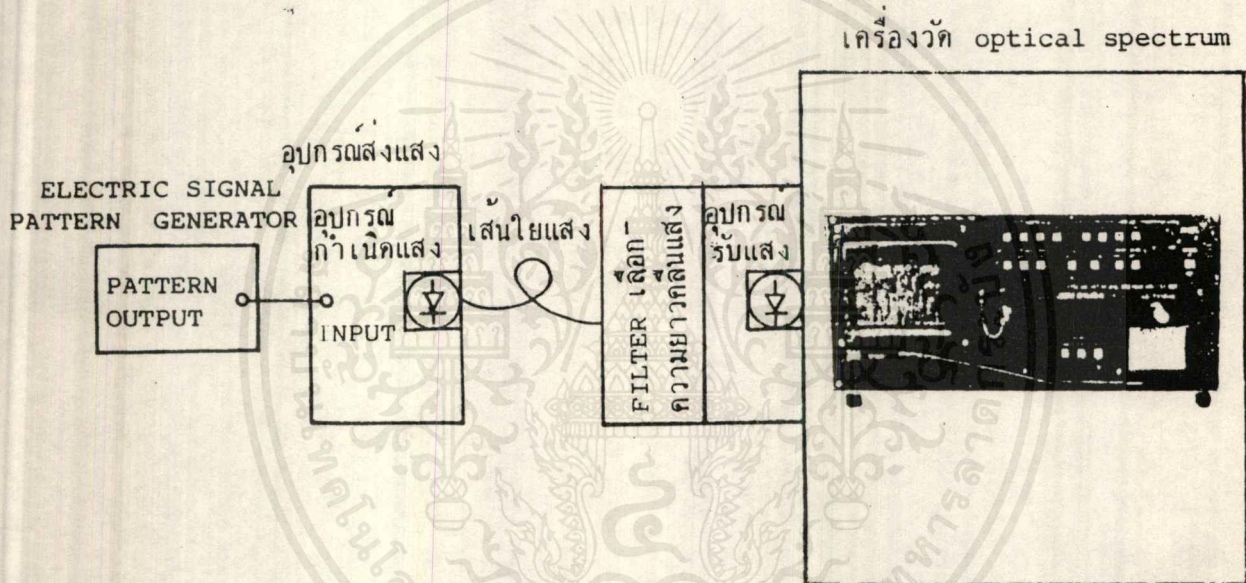
คุณสมบัติของอุปกรณ์กำเนิดแสงที่เกี่ยวข้องกับการวัดระยะห่างของ Repeater ของระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสงและการวัดการกระจายแสงของเส้นใยแสงที่ใช้ได้แก่คุณสมบัติที่สำคัญ 3 อย่างคือ Optical output power, Optical wave length และ Optical spectrum

การวัดกำลังแสง (Optical power) เป็นเทคนิคการวัดพื้นฐานที่สุดในกระบวนการวัดแสงทุกชนิด แสง output ที่ปล่อยออกมาโดยตรงจากอุปกรณ์กำเนิดแสง ซึ่งเป็นสิ่งที่จะถูกวัดนั้นจะป้อนให้แก่เครื่องวัด Optical output power meter และแสงนี้จะถูกอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแสง -> ไฟฟ้า ซึ่งจัดเตรียมเอาไว้ในตัวเครื่องวัดทำการเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า จากนั้นจึงทำการวัดค่าของปริมาณไฟฟ้านั้น ด้วยเหตุนี้คุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสงที่ใช้ในอุปกรณ์เปลี่ยนแสง -> ไฟฟ้า (O/E convertor) จึงเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุดจะต้องใช้ อุปกรณ์รับแสงที่มีความไวในการรับแสงตรงตามจุดประสงค์การใช้งาน สำหรับเครื่องวัดกำลังแสงมีหลายชนิดตามจุดประสงค์การใช้งานสำหรับเครื่องวัดกำลังแสงที่นิยมใช้กันทั่วไปจะมีความไวในการรับแสงได้ถึง -60 dBm ดังแสดงในรูป 37



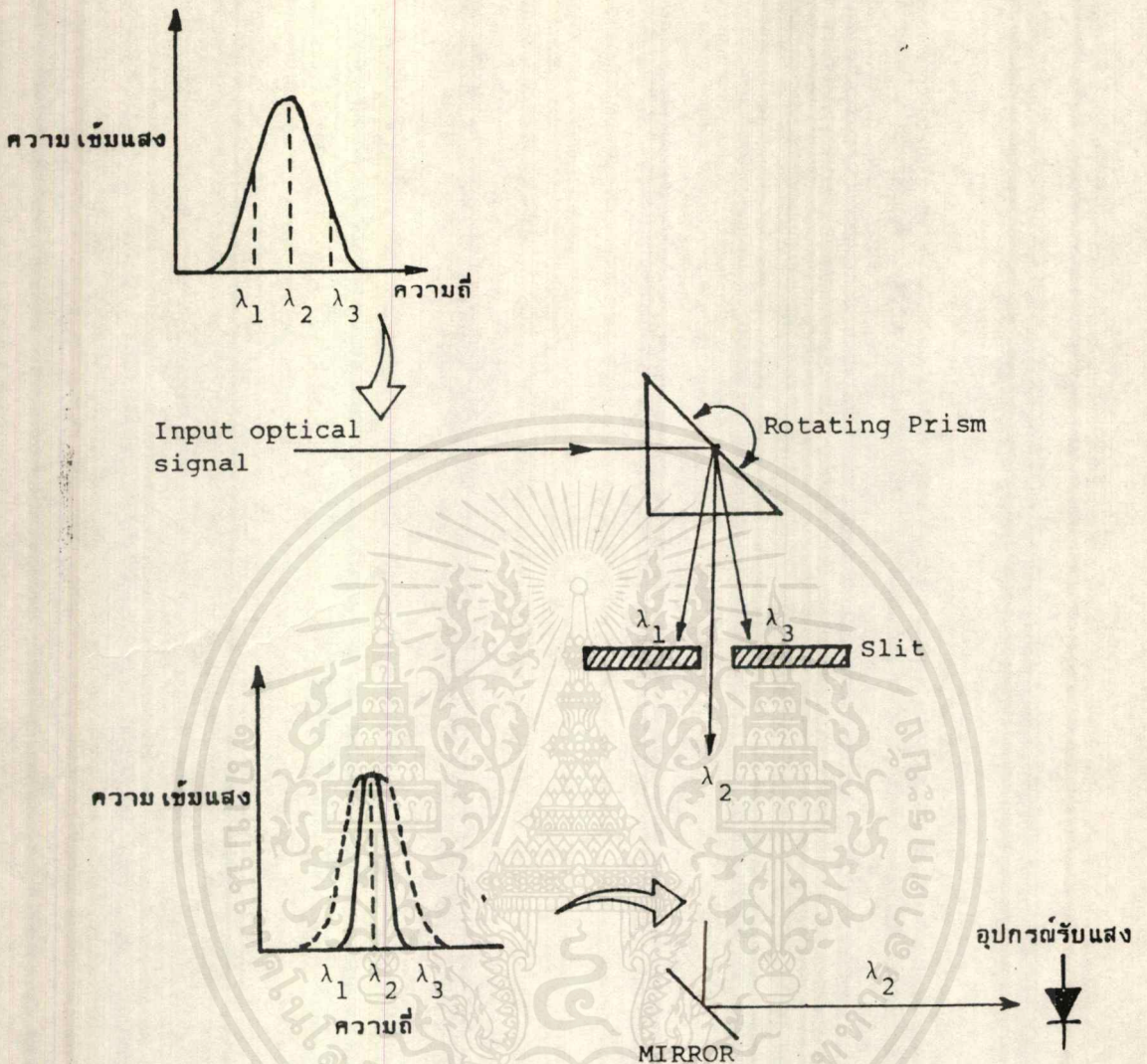
รูปที่ 37 แสดงลักษณะภายนอกของเครื่องวัดกำลังแสง

อนึ่งความยาวคลื่นแสงและ spectrum ของแสงจะทำการวัดด้วยเครื่องวัด Optical spectrum มีวิธีการวัดดังรูปที่ 38



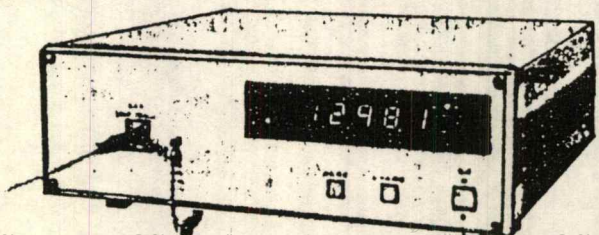
รูปที่ 38 วิธีวัดความยาวคลื่นแสงและ spectrum ของแสงของอุปกรณ์ส่งแสงแต่ละชนิด

นั่นคือแสง output ที่ออกจากอุปกรณ์กำเนิดแสงที่จะถูกวัดนั้นจะผ่านตัวกรองความยาวคลื่นซึ่งเลือกค่าได้ (wave length selection filter) ทำให้ได้โดยการหมุนแท่งแก้วปริซึมไปจากมุมที่เหมาะสมกับความยาวคลื่นที่ต้องการจะถูกสะท้อนไปยังทิศทางของ slit นอกจากนั้น slit นี้ยังเป็นตัวป้องกันความยาวคลื่นแสงใกล้เคียงไม่ให้มากวนด้วย ดังในรูป 39) จากนั้นจะทำการวัดกำลังแสงของความยาวคลื่นที่ต้องการแล้วแสดงค่าที่วัดได้ออกมาเป็นตัวเลข



รูปที่ 39 แสดงหลักการของ Filter เลือกความยาวคลื่นแสง

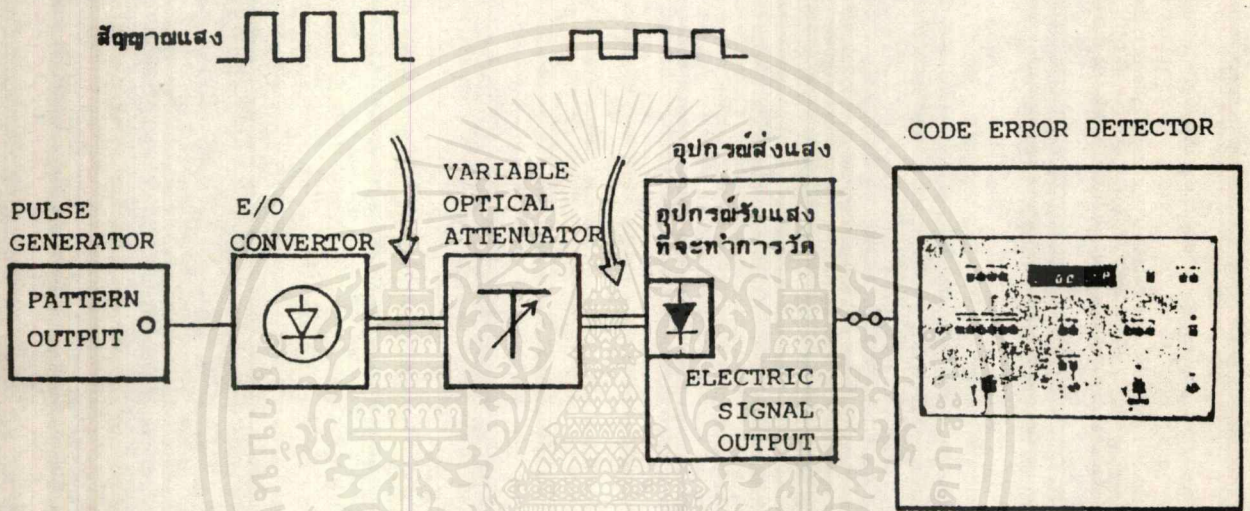
อนึ่งในกรณีที่ต้องการวัดค่าเฉพาะความคลื่นแสงเท่านั้น จะใช้เครื่องวัดความยาวคลื่นแสง (Optical wave length meter) ที่สามารถแสดงค่าความยาวคลื่นแสงที่มีกำลังแสงสูง ๆ ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งรูปที่ 40 ลักษณะภายนอกของเครื่องวัดความยาวคลื่นแสง ครั้งที่มีการนำไปใช้

- การวัดคุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสง

คุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสงในการก่อสร้างระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสงและการบำรุงรักษาระบบได้แก่ การวัดความไวการรับแสงซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในการกำหนดระยะห่างของ Repeater การวัดความไวการรับแสงนี้ ถือเป็นสิ่งสำคัญที่สุดนั่นคือ ความไวการรับแสงหมายถึงว่ากำลังของสัญญาณแสงที่เข้ามาถึงอุปกรณ์รับแสงจะค่อย ๆ ลดทอนต่ำลง โดยทั่วไปแล้วจะทำการประเมินผลจากค่ากำลังสัญญาณแสงที่เข้ามาในตอนที่ได้อัตราการผิดพลาดของ code (Code error rate) ที่ค่าคงที่ค่าหนึ่งหรือ (Transmission quality นั้นเอง)



รูปที่ 41 วิธีการวัดคุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสง

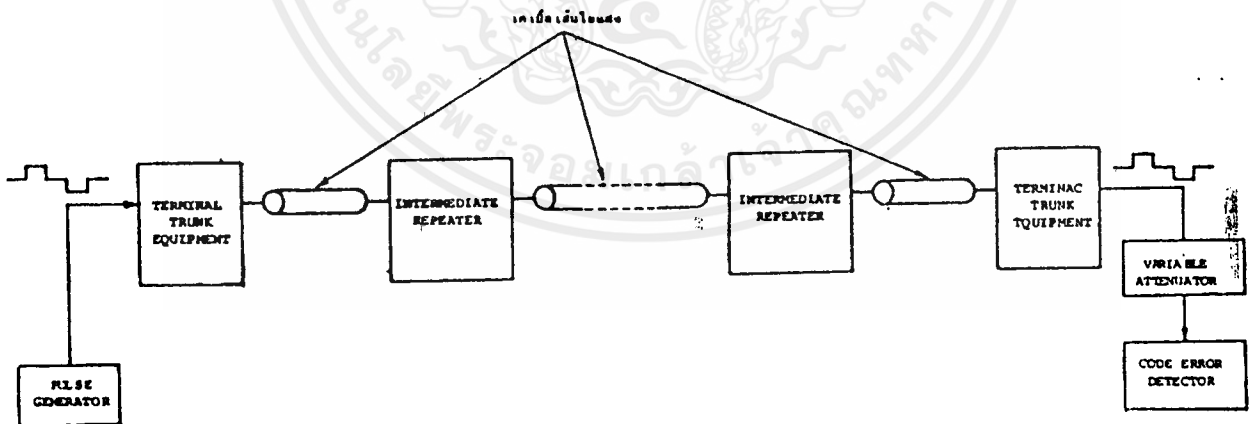
จากรูปจะเห็นว่าอันดับแรก Electric pulse ที่ผลิตขึ้นจาก Pulse generator จะถูกเปลี่ยนให้เป็น Optical pulse ด้วยอุปกรณ์เปลี่ยนไฟฟ้าเป็นแสง หลังจากนั้นจะถูกลดปริมาณแสงลงจนได้ค่าที่ต้องการด้วย Optical variable attenuator ต่อจากนั้นจึงป้อนให้แก่อุปกรณ์รับแสงที่ต้องการจะวัดคุณสมบัติ

อันดับต่อไปจะหาค่ากำลังแสง input ที่ทำให้ได้ค่าอัตราการผิดพลาดของ code ที่ต้องการ (เช่น 10^{-11}) จากสัญญาณไฟฟ้าที่ออกจากอุปกรณ์รับแสงที่ทำการวัดคุณสมบัติอยู่โดยใช้เครื่องวัด Code error rate meter สำหรับค่ากำลังแสง input หาได้จากผลรวมของกำลัง output ของอุปกรณ์เปลี่ยนไฟฟ้าเป็นแสงของทางด้านส่งกับจำนวนแสงที่ถูกลดลงด้วย Optical variable attenuator

- การวัดคุณสมบัติตลอดทั้งระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง

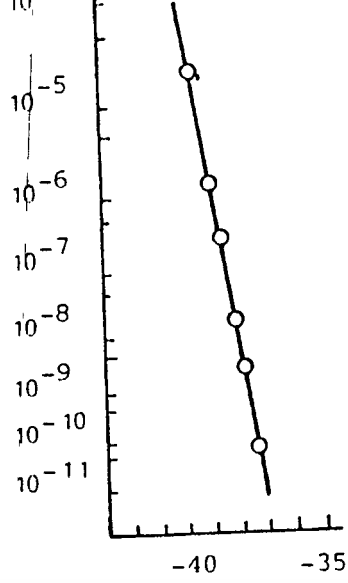
ในการที่จะทราบคุณสมบัติตลอดทั้งระบบนั้น โดยทั่วไปจะเป็นการประเมินผลจากคุณสมบัติการผิดคลาดของโค๊ด วิธีการเหมือนกันกับวิธีการวัดคุณสมบัติของอุปกรณ์แสง สำหรับรายละเอียดวิธีการวัดแสดงได้ดังรูปที่ 42 จากรูปจะทำการป้อนสัญญาณไฟฟ้าที่เป็นพัลส์เข้าที่ปลายด้านหนึ่งของระบบ แล้วใช้เครื่องวัดความผิดคลาดของโค๊ดวัดสัญญาณไฟฟ้าที่ออกมาจากปลายอีกด้านหนึ่ง ที่ตัวเครื่องวัดความผิดคลาดของโค๊ดนี้มี Pulse pattern อยู่ในตัวที่มีรูปร่างเหมือนกันกับ pattern ของสัญญาณที่ออกมาจาก Pulse generator โดยการนำ Pulse pattern นี้ไปเปรียบเทียบกับ pattern ของสัญญาณอินพุตที่ส่งมาในระบบการสื่อสารเส้นใยแสง จะสามารถหาความผิดคลาดของโค๊ดได้

ในการก่อสร้างระบบจะต้องคำนึงถึงการเสื่อมลงของคุณสมบัติในอนาคต โดยทั่วไปจะหาความสัมพันธ์ของกำลังแสงที่รับกับอัตราความผิดคลาดของโค๊ด ซึ่งถือเป็นคุณสมบัติความทนทานของตลอดทั้งระบบโดยการใช้ Optical variable attenuator ที่แสดงในรูปที่ 42 ทำการลดกำลังแสงที่ออกจากอุปกรณ์ Terminal repeater equipment จะได้ความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ 43 ความสัมพันธ์นี้จะมีผลกลับมาถึงการบำรุงรักษาระบบภายหลัง



รูปที่ 42 วิธีการวัดคุณสมบัติของระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นาเบเซประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



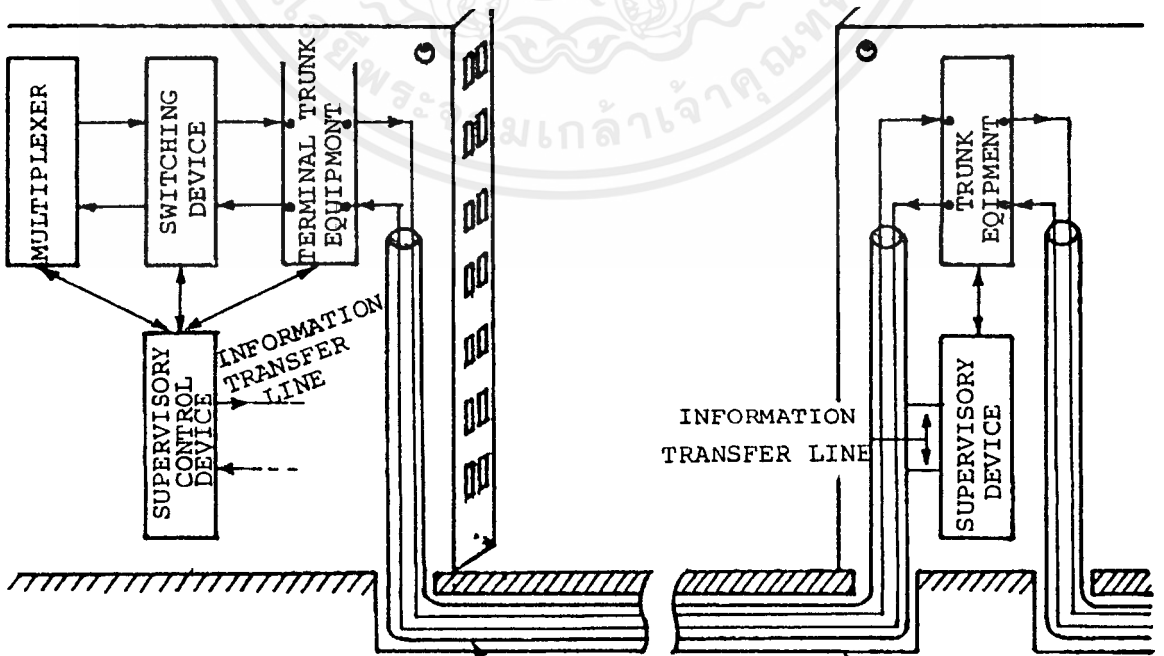
RECEIVING OPTIC POWER (dBm)

รูปที่ 43 ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างกำลังแสงที่รับกับอัตราความผิดพลาดของโค๊ด

การบำรุงรักษาระบบการสื่อสารเส้นใยแสง

การบำรุงรักษาพื้นฐานของข่ายสายการสื่อสารไฟฟ้าได้แก่ ความมั่นคงในการทำงานให้บริการที่ติดต่อเนื่องกันและเมื่อเกิดการขัดข้องจะต้องแก้ไขให้กลับคืนในเวลาอย่างรวดเร็ว แนวความคิดเหล่านี้ไม่ใช่สิ่งที่แตกต่างกันตามชนิดของระบบการสื่อสาร ดังนั้นในระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสงก็เหมือนกัน

จากรูปที่ 44 จะเห็นว่าเพื่อให้ได้การบำรุงรักษาพื้นฐาน 2 อย่าง ไม่เฉพาะตรวจสอบสภาพการทำงานของสายที่จุดเข้า-ออกของอุปกรณ์เท่านั้นแต่ต้องทำการตรวจสอบตัวอุปกรณ์เองด้วย เช่น การขัดข้องของแหล่งจ่ายไฟ เป็นต้น โดยทำการตรวจสอบแบบ on line



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 44 ตัวอย่างส่วนประกอบของระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่สิ่งเหล่านี้และต้องยังต้องแจ้งเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สิ่งที่เป็นลักษณะพิเศษที่สุดในการบำรุงรักษาระบบการสื่อสารเส้นใยแสงคือ ความสมบูรณ์ของการตรวจสอบใน Repeater equipment และการแสดงตำแหน่งที่เกิดการขัดข้องขึ้นได้อย่างอัตโนมัติ นั่นคือในระบบการสื่อสารแบบเก่าที่ใช้อยู่จนถึงทุกวันนี้ เนื่องจากระยะห่างของ Repeater มีค่าประมาณ 1-2 กม. ดังนั้นโดยทั่วไปแล้ว Repeater equipment จะติดตั้งอยู่ใน manhole แต่สำหรับระบบการสื่อสารเส้นใยแสงจะขยายระยะห่างของ Repeater ออกไปไกลมากจึงทำให้สามารถติดตั้ง Repeater ภายในชุมสายโทรศัพท์ได้ ผลก็คือแต่เดิมที่ Repeater equipment ซึ่งมีขีดจำกัดในการตรวจสอบอันเนื่องมาจากโครงสร้างของอุปกรณ์ตามขนาดของ manhole ส่วนประกอบและความยุ่งยากในการรักษาาส่งที่ใช้ส่งข่าวสารแจ้งการขัดข้องและอื่น ๆ นั้น สามารถทำการตรวจสอบได้เหมือนกันกับการตรวจสอบที่ Terminal repeater equipment

ดังนั้นในระบบการสื่อสารเดิมที่ใช้กันอยู่ เมื่อเกิดขัดข้องที่ Terminal repeater equipment จะโอนสายทั้งหมดที่ตรวจพบการขัดข้องไปยังระบบอื่นที่เป็นปกติอย่างอัตโนมัติ จากนั้นจะส่งสัญญาณค้นหาจุดขัดข้องช่วงระยะจาก Terminal repeater equipment และแสดงช่วงระยะที่ขัดข้องแต่กว่าในระบบการสื่อสารเส้นใยแสงนั้นจะสามารถแสดงช่วงระยะที่ขัดข้องได้อย่างอัตโนมัติดังต่อไปนี้

สมมุติว่าระบบเกิดขัดข้องเนื่องจากเคเบิลขาด, สัญญาณ information ที่แจ้งการขัดข้อง ซึ่งตรวจพบได้ด้วยอุปกรณ์จะส่งผ่านอุปกรณ์ตรวจสอบที่อยู่ในชุมสายเดียวกันแล้วส่งไปยังอุปกรณ์ตรวจสอบและความคุมโดยสายที่ใช้สำหรับการถ่ายทอดข่าวสาร (Information transfer line) ที่อุปกรณ์ตรวจสอบและความคุม (Monitor and control equipment) จะทำการรวบรวมข่าวสารจากอุปกรณ์ต่าง ๆ แล้วทำการวิเคราะห์หาตำแหน่งที่ขัดข้อง กล่าวโดยสรุปก็คือจากข่าวสารแจ้งการขัดข้องจะนำมาแสดงช่วงระยะที่ขัดข้องและระบบที่ขัดข้องได้อย่างอัตโนมัติ จากผลนี้เมื่อกับระบบเดิมที่ใช้อยู่จะเห็นได้ว่าผลถูกต้องแน่นอนกว่า นอกจากนั้นยังสามารถแสดงตำแหน่งที่ขัดข้องได้รวดเร็วมาก อนึ่งในรูปที่ 44 จะเห็นว่าระหว่างอุปกรณ์ Converter กับ Terminal repeater equipment จะมีอุปกรณ์ Switching equipment ติดตั้งอยู่ อุปกรณ์ Switching equipment นี้จะทำหน้าที่สับเปลี่ยนระบบที่ขัดข้องไปยังระบบที่ปกติอย่างอัตโนมัติเมื่อเวลาเกิดเหตุขัดข้องขึ้นมาในระบบ

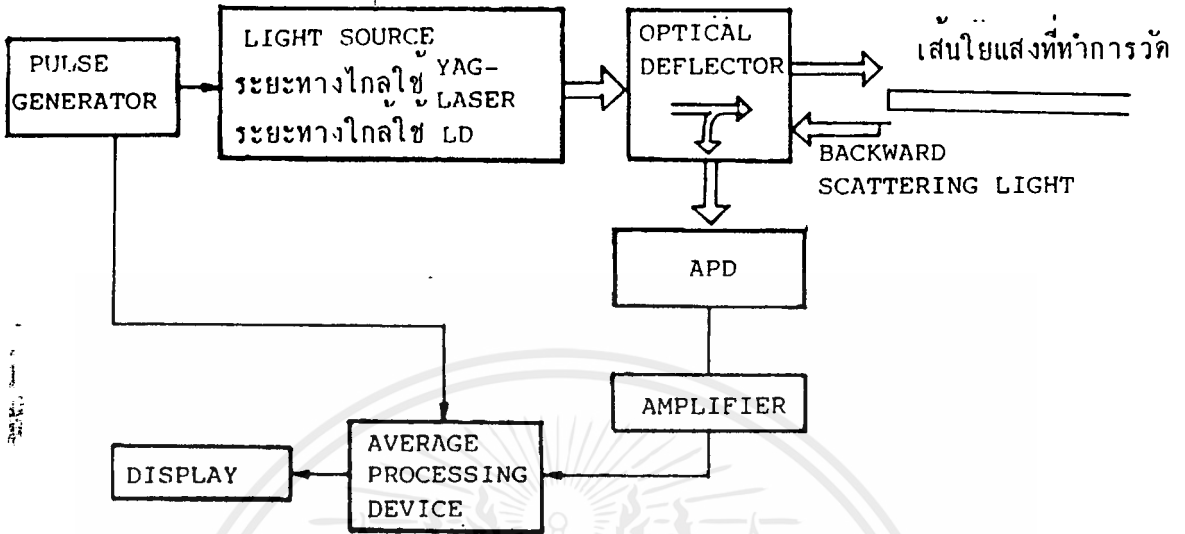
การบำรุงรักษาเคเบิลเส้นใยแสง

ในการบำรุงรักษาเคเบิลเส้นใยแสงก็เช่นเดียวกัน โดยหลักการพื้นฐานแล้วจะเหมือนกับการบำรุงรักษาของเคเบิลโลหะ กล่าวคือสายส่งจะต้องตีพร้อมทั้งมีความมั่นคงในการทำงานต่อเนื่องกัน และในกรณีที่เกิดการขัดข้องอย่างใดอย่างหนึ่งจะต้องหาสาเหตุให้พบอย่างรวดเร็วและแก้ไขให้กลับคืนเหมือนเดิมในเวลาทีรวดเร็ว เนื่องจากเส้นใยแสงมีจุดอ่อนอยู่ 2 อย่างที่ควรหลีกเลี่ยงคือแรงที่มากกระทำ

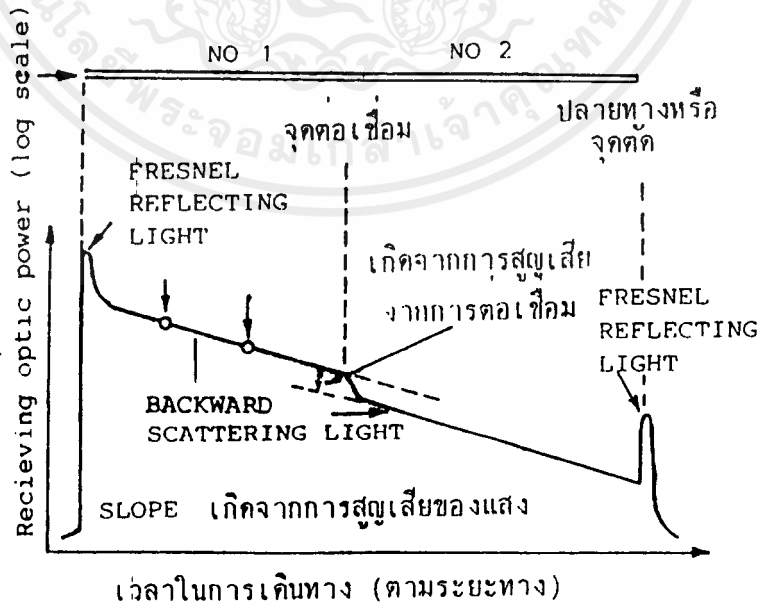
ด้านข้างและการเชื่อมต่อในน้ำเป็นเวลานาน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องระมัดระวังป้องกันจุดอ่อนเหล่านี้ การป้องกันไม่ให้น้ำเข้าไปในเคเบิลเส้นใยแสงก็คือระบบการป้องกันอากาศแห้งที่มีแรงดันสูงกว่าบรรยากาศเข้าไปในเคเบิลเส้นใยแสง (Gas maintenance system) กับระบบอัดสารประกอบ (Compound) เข้าไปในเคเบิล (Non-Gas maintenance system) ระบบ Gas maintenance system นั้นโครงสร้างของเคเบิลไม่ยุ่งยากแต่ต้องการอุปกรณ์ที่จะป้องกันอากาศแห้งเข้าไปในเคเบิล ส่วนระบบ Non-Gas maintenance system นั้นไม่ต้องการอุปกรณ์ที่จะป้องกันอากาศแห้งเข้าไปในเคเบิลแต่ตรงกันข้ามมีโครงสร้างซับซ้อนและมีราคาสูง นอกจากนั้นเวลาทำการเชื่อมต่อก็จำเป็นต้องเอาสารประกอบ (Compound) ออก

ในระบบ Gas maintenance system สามารถหาตำแหน่งที่แก๊สรั่วได้โดยการวัดการกระจายของแก๊สไปตามความยาวของเคเบิล ดังนั้นจึงมีชื่อที่สามารถรู้ถึงการชำรุดของวัสดุหุ้มภายนอกก่อนที่จะเกิดจะชำรุด ชื่อนี้เรียกว่า Preventive maintenance

อันดับต่อไปจะพิจารณาเกี่ยวกับวิธีค้นหาตำแหน่งเส้นใยแสงขาดในกรณีที่เส้นใยแสงถูกทำให้ขาดอันเนื่องมาจากแรงกระทำภายนอกด้วยสาเหตุอย่างใดอย่างหนึ่ง ถ้าเป็นกรณีของเคเบิลที่ทำด้วยโลหะ วิธีหาตำแหน่งของสายขาดจะใช้ Pulse test สำหรับกรณีของเส้นใยแสงก็เหมือนกันใช้ Optical pulse tester กล่าวคือจะป้อน Optical pulse เข้าไปในเส้นใยแสง แสงส่วนหนึ่งจะเกิด Rayleigh scatter อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเหเล็กน้อยภายใน core กลับคืนมาที่ปลายที่ป้อนแสงเข้าไป แสงนี้เรียกว่า Back direction scattering light นอกจากนั้นที่จุดที่เส้นใยแสงขาด เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเหอย่างกะทันหันจะเกิดแสงสะท้อนกลับมาอย่างมาก (เรียกว่า Fresnel reflecting light) แสงที่กระจายกลับมามีที่ด้านหลังและแสง Fresnel reflecting light จะกลับมามีที่ปลายด้านที่ป้อนแสงเข้าไป หลังจากที่มีมันใช้เวลาในการเดินทางที่เป็นสัดส่วนกับระยะทางจากจุดสะท้อนกลับ โดยการนำแสงที่กลับคืนมานี้ไปแยกออกด้วยอุปกรณ์ Optical deflector ในระบบการจัดที่แสดงในรูปที่ 45 จากนั้นนำไปเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าให้ได้รูปคลื่นตามรูปที่ 46



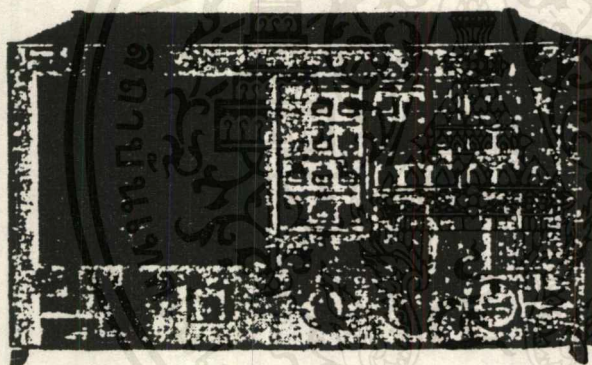
รูปที่ 45 ส่วนประกอบพื้นฐานของ Pulse tester



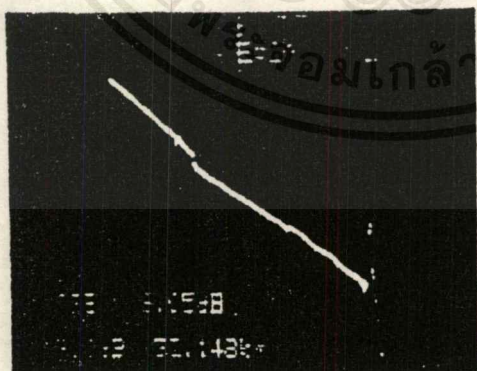
รูปที่ 46 หลักการวัดระยะทางของจุดที่เส้นใยแสงขาดของ Pulse tester

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และเผยแพร่โดยมูลนิธิส่งเสริมศิลปวัฒนธรรมแห่งชาติด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แกนในแนวนอนแสดงเวลาการเดินทางไปและกลับจากปลายที่ป้อนแสงเข้าไป ถ้าหากว่าดัชนีการหักเหของเส้นใยแสงมีค่าเท่ากันตลอดทิศทางที่แสงเดินทางแล้วละก็ ปริมาณการกระจายกลับมาจากด้านหลังของแสงที่เดินทางในแต่ละจุดในเส้นใยแสงจะเท่ากัน กำลังแสงที่เดินทางมาจากจุดที่อยู่ไกลนั้นจะขนาดต่ำลง เนื่องจากส่วนของการสูญเสียในเส้นใยแสงเท่านั้นเอง (ดังแสดงด้วยความสัมพันธ์ของระยะ AB ในรูปที่ 46) อนึ่งถ้าหากระหว่างทางเกิดมีจุดขาดของเส้นใยแสง จะมองเห็นแสงสะท้อนกลับอันเนื่องมาจาก Fresnel reflection มีค่าสูง โดยการเปลี่ยนระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางจากจุดเริ่มต้นจนถึงจุดที่เส้นใยแสงขาดให้เป็นระยะทาง จะทำให้สามารถหาตำแหน่งของจุดที่เส้นใยแสงขาดได้ เนื่องจากในอุปกรณ์ Optical pulse tester จริง ๆ นั้นเขาจะแบ่งแกนนอนเป็นสเกลระยะทาง จึงทำให้สามารถอ่านค่าของระยะของตำแหน่งที่จุดที่เส้นใยแสงขาดได้โดยตรงเลย ตัวอย่างของ Optical pulse tester ที่ใช้ทำ Pulse test และรูปร่างคลื่นที่แสดงออกมาบนจอแสดงดังรูปที่ 47



(a) ลักษณะภายนอกของเครื่องทดสอบพัลส์



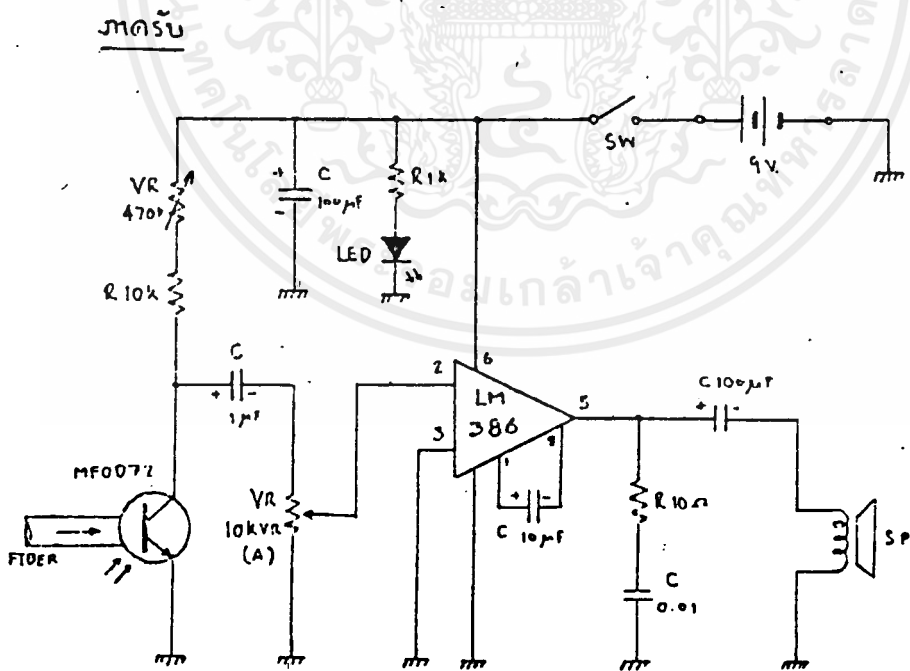
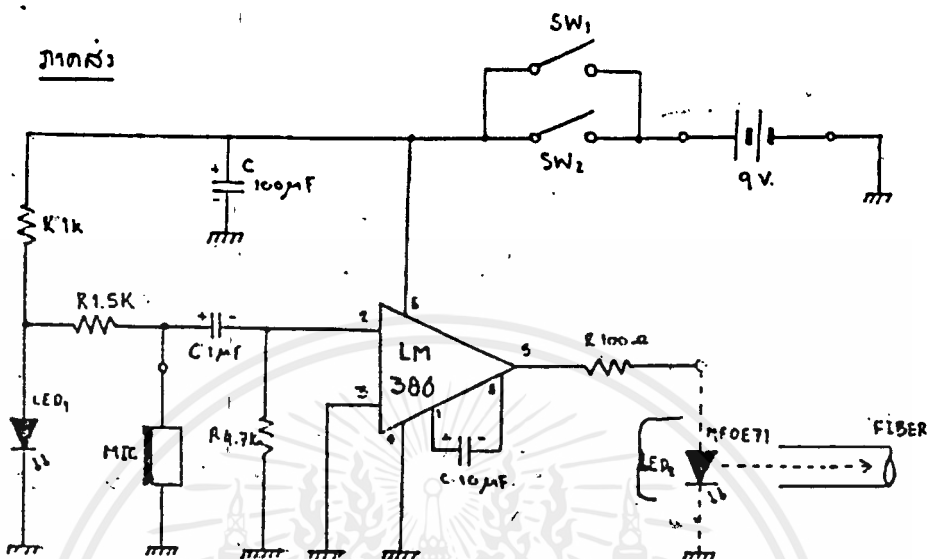
(b) รูปคลื่นที่วัดได้

การทดลอง Intensity Modulation

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เส้นใยแสงชนิดพลาสติก แบบแกนเดี่ยว ขนาดความยาว 1 เมตร และ 10 เมตร
2. Infrared LED # MFOE 71
3. Photo Detector
 - Transistor Output # MFOE 72
 - Diode Output # MFOE 71
4. IC Op-Amp # LM 386 * 2
5. Condensor MIC.
6. ลำโพง 8 โอห์ม
7. Oscilloscope
8. Signal Generator
9. Power supply 9 Vdc * 2
10. LED * 2
11. Resistor 10, 100, 1k * 2, 1.5k * 2, 4.7k * 2, 10k
12. ความต้านทานปรับค่า 10k (แบบ A) และ 470k
13. Condensor 1 μ * 2, 10 μ * 2, 100 μ * 3, 0.01F
14. IC Board พร้อมสายสำหรับเชื่อมต่อต่างๆ


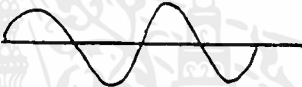

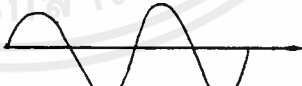
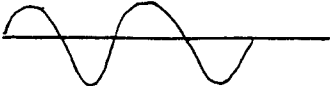
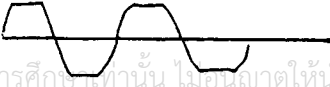
วงจรที่ใช้ในการทดลอง



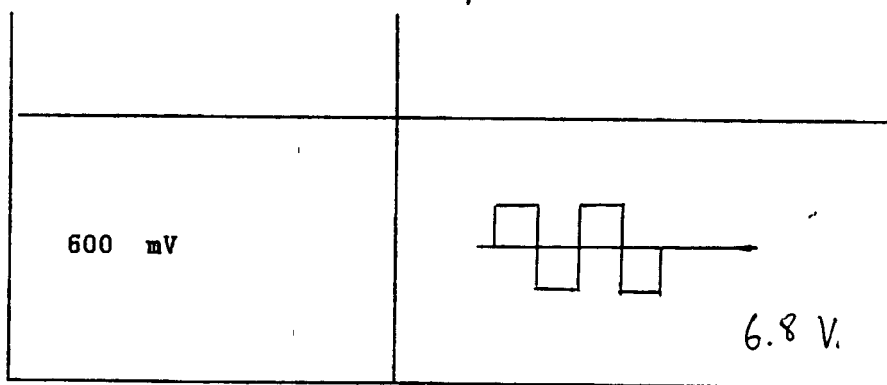
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

1. จากวงจรภาคส่ง บ้อนสัญญาณ sine wave เข้าแทน MIC ขนาดความถี่ 1 kHz ให้ปรับขนาด Amplitude ของสัญญาณ input ไปจนกระทั่งได้ขนาดของสัญญาณ output ที่ Op-Amp มีขนาดสูงสุด โดยไม่เกิดการเพี้ยน

input sine wave (V_{p-p})	output ที่ Op-Amp (V_{p-p})
10 mV	 1.8 V.
20 mV	 3.6 V.
30 mV	 5.4 V.
38 mV	 6.8 V.
40 mV	 6.8 V.
50 mV	 6.8 V.

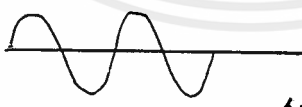
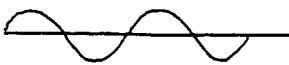
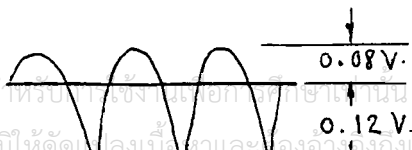
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



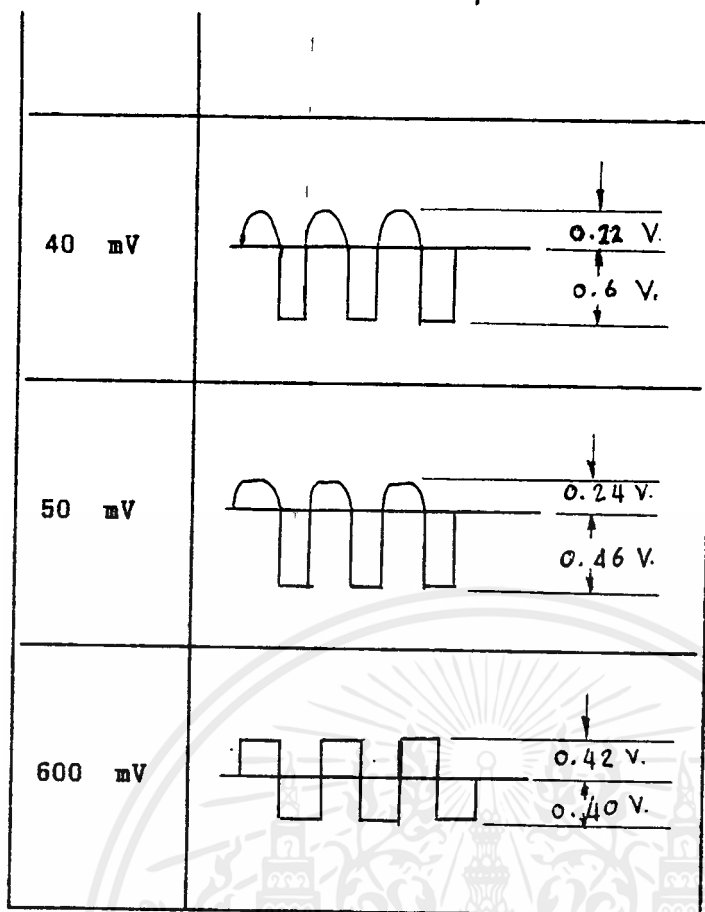
ตารางบันทึกผลการทดลอง 1

จากการทดลอง วงจรขยายจะขยายสัญญาณที่เข้ามาประมาณ 180 เท่า และสัญญาณ output จะได้ค่าสูงสุดที่ไม่ถูก clip คือ ในช่วงที่ input ประมาณ 38 mV หรือ 40 mV ถ้าหากว่าสัญญาณ input ที่เข้ามามีค่าเกินกว่านี้ขึ้นไป สัญญาณ output จะถูก clip (ดูได้จากผลการทดลอง) ซึ่งเราจะเห็นว่าสัญญาณ output ที่ Op-Amp นั้นจะมีค่า Amplitude สูงสุดอยู่ที่ 6.8 V_{p-p} และถ้าปรับขนาดของสัญญาณ input ไปจนกระทั่งถึง 600 mV แล้วสัญญาณ output ที่ Op-Amp จะกลายเป็นรูป Square wave

2. วัดสัญญาณที่ตำแหน่งหลัง R 100 Ohms ที่ต่อจากขา output ของ Op-Amp

input	สัญญาณหลังจากผ่าน R
10 mV	 42 mV.
20 mV	 0.1 V.
30 mV	 0.08 V. 0.12 V.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในห้องเรียนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและองค์ประกอบของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



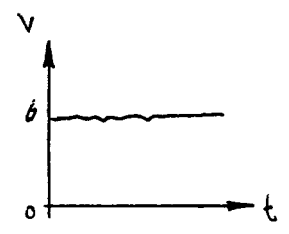
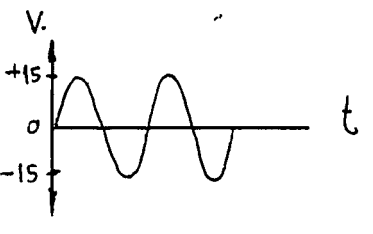
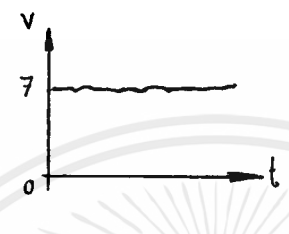
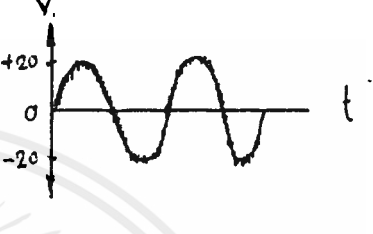

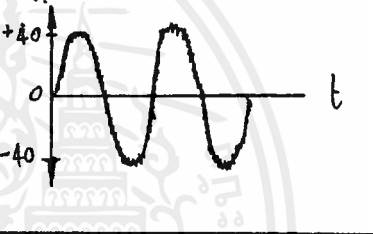
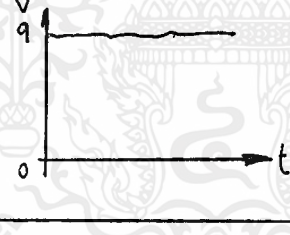

ตารางบันทึกผลการทดลอง 2

จากการทดลองจะเห็นว่า สัญญาณที่ออกจาก Op-Amp จะมาตกคร่อมที่ R 100 Ohms ตัวนี้ส่วนหนึ่ง เพื่อการนำไปจ่ายให้กับตัวกำเนิดแสง Infrared LED # MFOE 71 ซึ่ง LED ตัวนี้ตาม spect ของมันนั้นจะมีค่าสูงสุดของแรงดัน Forward ไม่เกิน 2 v.

สำหรับรูปคลื่นของสัญญาณที่ผิดแปลกไป จะไม่มีผลอะไร เพราะเราต้องการเพียงแรงดันทางค่านวกเท่านั้นที่จ่ายเป็น Bias แก่ LED เมื่อ LED ได้รับ Bias แล้วมันก็จะทำการแปลงสัญญาณทางไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณแสง โดยขึ้นอยู่กับระดับความแรงของสัญญาณ เพื่อส่งผ่านเข้าไปในตัวกลางเส้นใยแสงต่อไป

3. เชื่อมต่อวงจรภาคส่งเข้ากับภาครับ (ใช้เส้นใยแสงเป็นตัวกลาง) ทำการปรับค่า Bias ของ Photo Transistor คือปรับค่าความต้านทานที่ VR 470 k ให้วัดสัญญาณที่ขา Collector ของ Photo Transistor ทั้งทาง DC และ AC โดยเริ่มตั้งแต่ค่า DC 6 v. ไปจนถึง 9 v เปรียบเทียบกับทาง AC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า VR (Ohms)	สัญญาณ DC (volts)	สัญญาณ AC (volts)
470 k		
350 k		
230 k		
0		

ตารางบันทึกผลการทดลอง 3

จากผลการทดลองจะพบว่า สัญญาณไฟตรงไม่ราบเรียบ ซึ่งเป็นผลต่อเนื่องไปถึงสัญญาณทาง AC เกิดการสั่นหรือมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นบนรูปคลื่น (ดังผลในตาราง)

เมื่อเราทดลองปรับให้ค่าแรงดันที่ขา collector เทียบ ground มีค่าเกินกว่า 8 V. ขึ้นไปแล้ว เราจะพบว่า Photo Transistor ไม่สามารถที่จะทำงานได้ คือจะไม่มีสัญญาณออกมาเลย

4. ทดลองส่งสัญญาณ ดูว่าเมื่อต่อภาครับเข้าไปแล้วมีผลอย่างไร

ผล

จากตอนที่เราทดลองเฉพาะภาคส่ง เราได้เราสามารถส่งสัญญาณ input ได้สูงสุดประมาณ 40 mV เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า แต่ทว่าเมื่อเราต่อภาครับเข้าไปแล้ว พบว่าถ้าหากภาคส่ง ส่งสัญญาณขนาด 40 mV. มา ที่ภาครับจะเกิดไม่วากกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเพี้ยนของสัญญาณเกิดขึ้น เมื่อผ่านการทดลองปรับค่าไปเรื่อยๆ จะได้ว่าสัญญาณที่แรงที่สุดที่เราจะสามารถป้อนเข้าไป เพื่อที่จะส่งไปยังภาครับ ให้สามารถรับสัญญาณได้โดยไม่มี ความเพี้ยน จะมีค่าประมาณ 34 mV. (ลดลงจากตอนแรก) ซึ่งเมื่อผ่านการขยายจาก Op-Amp ที่ภาคส่งแล้วจะได้สัญญาณที่ขาออกของ Op-Amp ประมาณ 5.8 V. และสัญญาณที่หลังจากผ่าน R เพื่อป้อนให้กับ ตัวกำเนิดแสง LED (คิดเฉพาะแรงดันทางด้านบวก) แล้วจะได้ค่าประมาณ 100 mV. ในส่วนของวงจรทางด้านภาครับ เราจะสามารถปรับค่าเพื่อให้ได้สัญญาณ output สูงที่สุดที่ไม่เกิดความเพี้ยนของสัญญาณได้ค่าประมาณ 6 V. (วัดที่ขาoutput ของOp-Amp ทางภาครับ) ถ้าเราปรับ Gain การขยายของวงจรมากกว่านี้แล้วจะทำให้สัญญาณที่ได้ไม่สมบูรณ์คือจะเกิดการ clip ของสัญญาณเกิดความเพี้ยนขึ้น (การปรับ Gain ของวงจรภาครับ ก็คือการปรับค่าของ VR10 K(A) ซึ่งเปรียบเสมือนเป็นตัว Volume นั่นเอง) ถ้าเราต้องการที่จะให้มีขนาดของสัญญาณ output ที่จะส่งไปยังขั้วออกลำโพงมากกว่านี้ ก็ต้องต่อวงจรขยายเพิ่มเติมขึ้นมาอีก

5. เปลี่ยนตัว Photo Detector จาก #MFOD 72 มาเป็น #MFOD 71 สังเกตความแตกต่าง

ผลที่ได้

สัญญาณที่รับได้ทางภาครับจะมีขนาดที่ลดลง และค่าของ input ที่ส่งได้สูงสุดที่ไม่ทำให้เพี้ยนจะมีค่าประมาณ 30 mV. เท่านั้น เหตุที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่า #MFOD 71 ที่ใช้เป็นชนิด Diode Output จึงมีความสามารถในการรับ และขยายสัญญาณออกมาได้ต่ำกว่า #MFOD 72 ซึ่งเป็นชนิด Transistor Output ส่วนลักษณะอื่นๆ จะเหมือนเดิมหมด

6. ทดลองบิดงอ และโค้งงอเส้นใยแสง ในรูปแบบต่างๆ สังเกตผล

ผลที่ได้

-กรณีที่ใช้ #MFOD 72 เป็นตัวรับแสง

เมื่อทำการดึง, บิดเส้นใยแสงจนเป็นเกลียวอย่างไรก็ตาม เราจะไม่สามารถสังเกตเห็นความแตกต่างของการรับสัญญาณ และแม้แต่ว่าจะโค้งงอเส้นใยแสงก็ตาม เว้นแต่ถ้าถ้าเราทำการโค้งงอเส้นใยแสงจนเป็นมุมที่แคบมากๆ ขนาดพันรอบนิ้วมือลงไปแล้วล่ะก็ เราจึงจะสังเกตเห็นว่ามันจะเกิดการสูญเสียของสัญญาณ คือขนาดของสัญญาณที่ได้จะลดลง แต่ไม่เกิดความผิดเพี้ยนของสัญญาณแต่อย่างใด ยิ่งเรางอเส้นใยแสงให้เป็นมุมเล็กงอเท่าไร (จนเส้นใยแสงเกือบจะแตกหักแล้ว) ขนาดของสัญญาณก็จะยิ่งลดลงตามไปเรื่อยๆ ถ้าเราขดเส้นใยแสงเป็นวงกลม เราจะสังเกตเห็นความสูญเสียของสัญญาณได้ก็ต่อเมื่อ เราขดเป็นวงกลมขนาดที่เส้นผ่าศูนย์กลางของวงกลมเล็กกว่า 0.5 นิ้วลงไป ซึ่งการผลการทดลองที่ได้นี้เราจะเห็นว่าเราสามารถใช้เส้นใยแสง เป็นตัวกลางในการส่งถ่ายสัญญาณนั้น มีความยืดหยุ่นไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นอย่างยิ่ง

-กรณีที่ใช้ #MFOOD 71 เป็นตัวรับแสง

ผลการทดลองที่ได้จะมีลักษณะเหมือนกับ กรณีที่ใช้ #MFOOD 72 ทุกอย่าง เพียงแต่ว่า ถ้าใช้ #MFOOD 71 นี้ เราจะสังเกตเห็นการลดทอนของสัญญาณได้เร็วกว่า ซึ่งก็หมายความว่า ถ้าใช้ #MFOOD 71 เป็นตัวรับแสง เราจะสามารถโค้งงอ หรือ ขดงอเส้นใยแสงได้น้อยลง (จากผลการทดลอง เพียงขดงอเส้นใยแสงเป็นวงกลมขนาด เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 นิ้ว เราก็จะสามารถสังเกตเห็น การลดทอนของสัญญาณได้แล้ว)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลอง AM Transmission System

Scope of study

ศึกษาถึงระบบ Amplitude modulation (AM) ของ Light-emitting diode (LED) รวมทั้งศึกษาถึงวิธีการถอดรหัสสัญญาณ AM

วัตถุประสงค์ ในการทดลองนี้ เราจะได้ทราบถึง

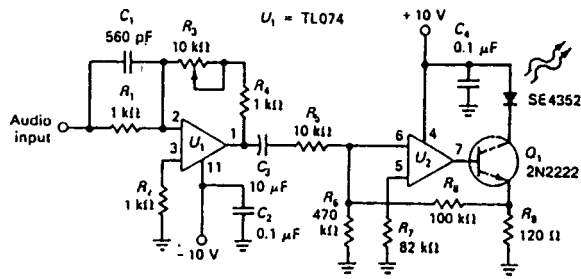
1. การส่งผ่านสัญญาณในระบบ AM light-modulation
2. ทดสอบและวัดผลการทดลองตามลำดับการทดลองที่ให้ไว้
3. ทราบถึงข้อดีข้อเสีย ของระบบ AM
4. ศึกษาถึง LEDs เพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ในการส่งสัญญาณ
5. ศึกษารายละเอียดทางเทคนิคของอุปกรณ์ LEDs

การทำงาน

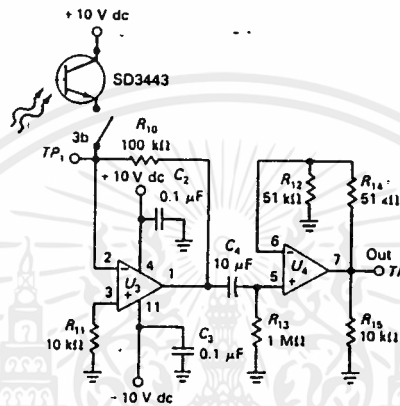
ในระบบวิทยุ AM สัญญาณเสียงจะถูก modulate กับความถี่วิทยุ (RF) ซึ่งเป็นคลื่นความถี่ที่สูงกว่าความถี่เสียง คลื่น RF จะเป็นคลื่นนำห์ และสัญญาณเสียงจะเป็นข้อมูลข่าวสาร ในระบบ Optoelectronic คลื่นแสงจะเป็นคลื่นนำห์ แสงสามารถผลิตได้ทั้งจากไฟกระแสดตรงและกระแสสลับ ข้อมูลข่าวสารก็สามารถส่งได้ทั้งในเสียง ภาพ หรือสัญญาณพัลส์

ภาคส่งเสียงในระบบการสื่อสาร ประกอบด้วย transducer input , preamplifier และ audio driver ส่วนของคลื่นนำห์จะมี oscillator , ตัวขับ RF amplifier buffer สัญญาณออกที่ไปยังสายอากาศจะได้มาจาก RF power amplifier กระแสนำห์จะทำให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งจะถูก modulated โดยเครื่องขยายเสียงในส่วนของ RF power output ภาครับในระบบจะจับสนามแม่เหล็กที่มาติดกับสายอากาศ แล้วเปลี่ยนเป็น small voltates แรงดันเหล่านี้จะอยู่ในขั้นตอนของ Mixer stage และ IF Amp. เสียงจากต้นทางจะถูกแยกออกมาจากคลื่นนำห์ในวงจร detector ดังนั้น audio voltage จะถูกขยายและเปลี่ยนกลับเป็นเสียงออกที่ลำโพง

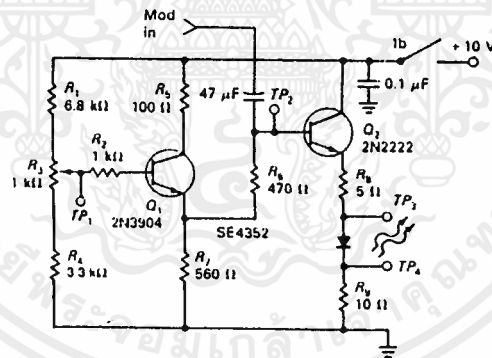
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)



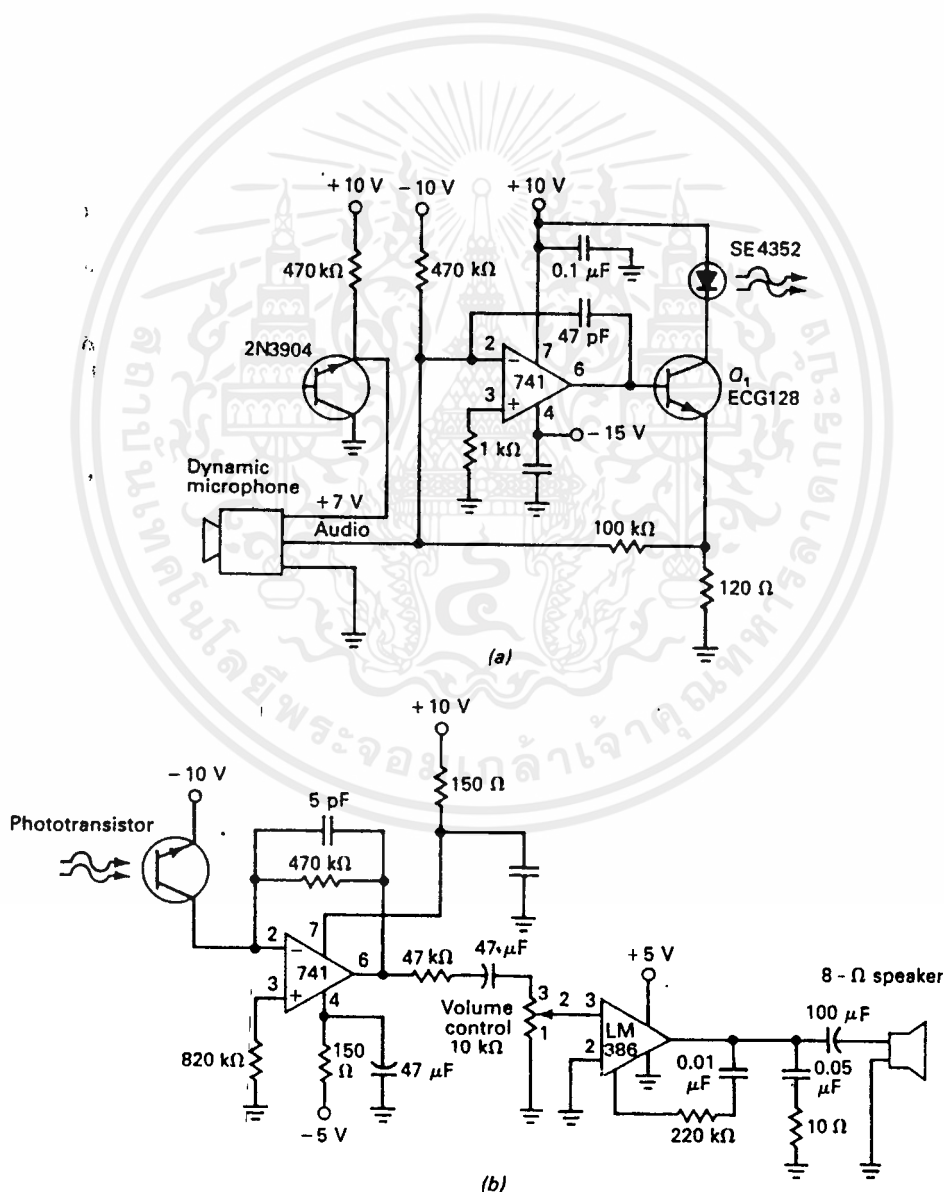
(c)

รูปที่ 1.1 ระบบการสื่อสารด้วยแสง (a)ภาคส่ง (b)ภาครับ (c)ตัวขับแสง

รูป 1.1a แสดงให้เห็น circuit diagram ของระบบการสื่อสารแบบ AM light ภาคส่งจะรวมเอา 2-stage audio amp. (U_1 และ U_2) กับ light modulator (Q_1) อินพุทภาครับ(รูปที่ 1.1b) ใช้ photodiode (ในตำแหน่งของสายอากาศ) แล้วผ่านมายัง 2-stage amp. ที่ output ของวงจรขยาย เราสามารถต่อลำโพงขยายเสียงเลย หรืออาจจะเป็นอุปกรณ์อื่นๆ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า U_1 ในภาคส่งจะมี Gain ประมาณเท่ากับ $50 (R_4 + R_5)$ R_5 เป็นตัวควบคุม Gain ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Two-stage Amplifier จะเป็น full modulation เมื่อได้รับสัญญาณ 1 mV. U_x จะควบคุม bias ของ Transistor Q_1 ค่าของ R_6, R_7, R_8 และ R_9 ขึ้นอยู่กับกระแสของ Q_1 และกระแสแสงของ LED

เอาท์พุทของภาคส่งจะถูก coupled ไปยังภาครับโดยสาย fiber optic Gain ของ U_x ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของแสงที่ Photodiode ถ้าแสงมากก็จะมีค่าของ resistance ต่ำซึ่งจะให้ Gain ได้สูง U_x จะให้ Gain เป็น 5 สัญญาณ 1 mV. ที่ภาคส่งจะทำให้ภาครับที่มีค่าประมาณ 10 V Gain ทั้งหมดของระบบมีค่า 10^4 ในการทดลองนี้สัญญาณจะถูกส่งในสายขนาด 0.1 มม. ความยาว 10 ม.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 1.2 ระบบ AM transmission (a)ภาคส่ง (b)ภาครับ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

An Alternate AM Transmission System

จากรูปที่ 1.2(a) dynamic microphone ที่อยู่ใน Amplifier และ Gain control จะถูกใช้เป็น Signal source microphone ใช้ไฟเลี้ยงจาก Transistor 2N 3904 ซึ่งเปรียบเสมือน Zener Diode LM 741 Amplifier ใช้ขับกระแส modulator ถ้า microphone ไม่มี pre-amp. ในภาคส่งจะต้องมี amplifier เพิ่มอีก 1 stage

ในภาครับรูปที่ 1.2(b) Phototransistor รับสัญญาณแล้วส่งมาที่ภาคขยาย LM 741 โดยใช้ volume ควบคุมสัญญาณเสียงที่จะต่อผ่าน power amplifier (LM 386) ขยายออกลำโพงต่อไป ซึ่งวงจรนี้จะใช้ power supply $+10$ v.

เครื่องมือและอุปกรณ์

Active devices:

MELD 77 IRED, emitter
 SD 3443 phototransistor
 TL 074 (LF347) IC Op-amp.
 2N 4921 transistor power
 2N 3904

Resistors (ohm.):

- 5, 10, 100, 120
 - 1k(4), 3.3k, 6.8k, 10k(2), 51k(2), 82k, 100k, 470k, 560k, 1M
 - potentiometer 1k, 10k

Capacitors:

0.1 μ F(4), 10 μ F, 47 μ F, 560pF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แนะนำ

ในขั้นตอนของการทดลอง ใช้ค่าของอุปกรณ์ในภาคส่ง, ภาครับ และสาย fiber optic ที่กำหนดไว้ จะทำให้เราสามารถรู้ถึงคุณสมบัติในการทำงานของระบบ AM ในภาครับจะ coupled กับภาคส่งโดยใช้ fiber cable สำหรับภาคส่ง ใช้วงจรรูปที่ 1.1(c) และภาครับใช้วงจรในรูปที่ 1.1 (b) ทั้ง 2 วงจรจะใช้ไฟเลี้ยง $10 V_{DC}$ fiber cable ยาว 10 ม. เชื่อมต่อระหว่าง emitter กับ phototransistor ปิดสวิตช์ 1b และ 3b ต่อเข้ากับ function generator ตั้งสัญญาณรูปคลื่นไซน์ความถี่ 100 Hz (zero voltage level) เข้ากับอินพุทภาคส่ง (mod. in) ใช้สาย probe ของ dual-trace oscilloscope เส้นหนึ่งกับ TP3 (ภาคส่ง) และอีกสายไว้ที่เอาต์พุทภาครับ (ตำแหน่ง TP3 เหมือนกัน) ค่อย ๆ ปรับเพิ่มค่า signal voltage เข้า ๆ จนกระทั่งเอาต์พุทภาครับอ่านได้ $10 V_{DC}$ หรืออาจจะน้อยกว่าถ้าเกิดการ saturated ขึ้น

การทดลอง PULSE-WIDTH MODULATION

scope of study

การทดลองนี้เป็นการศึกษาวิธี pulse-width modulation ของสัญญาณ การส่งผ่านสาย fiber optic และการ demodulation สัญญาณที่ภาครับ โดยที่วงจรถ่าย stable และ monostable จะทำการผลิต carrier frequency ซึ่งก็คือ pulse width modulated

วัตถุประสงค์

ในการทดลองนี้เราจะได้ทราบถึง

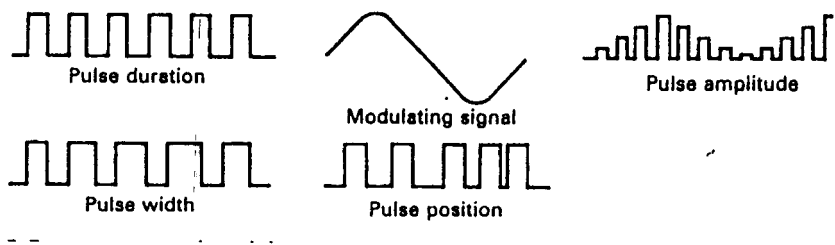
1. รายละเอียดเบื้องต้นและเทคนิคที่ใช้ผลิต pulse-width modulation (PWM)
2. การประยุกต์เอา PWM ไปใช้งาน
3. การทดลองและวัดผลวงจรที่ใช้ในการทดลอง
4. ทำให้เข้าใจถึงเทคนิคของ PWM
5. อุปกรณ์ optoelectronic ที่ใช้ในเครื่องส่ง PWM

การทำงาน

pulse-width modulation ก็คล้ายๆกับ AM และ FM ซึ่งสามารถที่จะใช้ในการส่งสัญญาณความถี่ต่ำ ซึ่งใน PWM แอมพลิจูดและความถี่ของ carrier จะถือว่าเป็นค่าคงที่ ในขณะที่ความกว้างของพัลส์ (pulse width) จะมีการเปลี่ยนแปลง โดยทั่วไปจะใช้สัญญาณ square wave (pulse) เป็น carrier และสัญญาณ modulating จะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านความกว้างของพัลส์ modulator จะทำการเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกไปเป็นสัญญาณพัลส์ต่อเนื่องที่มีความกว้างของพัลส์แตกต่างกัน โดยที่พัลส์นั้นจะถูกบรรจุข่าวสารไว้โดยสัญญาณ modulating

pulse-width modulation มักจะกล่าวถึง pulse-time modulation (PTM) และ pulse-duration modulation (PDM) สัญญาณ modulating อาจจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นหรือขอบขาลงของ carrier pulse หรือเปลี่ยนทั้งสองส่วน ใน pulse-position modulation พัลส์ที่ถูก modulated แล้วจะถูกเลื่อนจากตำแหน่งเดิมไป ดังรูปที่ 1.1 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงรูปแบบทั่วไปของ modulation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

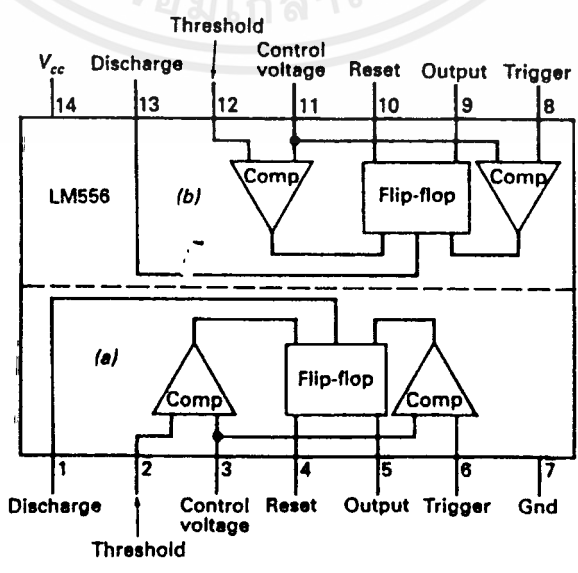


รูปที่ 1.1 รูปแบบของการ Modulation

ในการส่งสัญญาณพัลส์ที่ถูก modulate แล้วนั้นค่อนข้างดีกว่าสัญญาณอนาล็อกที่ตรงที่สามารถจะลดระดับของ noise และ distortion ลงได้แล้วยังง่ายต่อการสร้างสัญญาณขึ้นมาใหม่และส่งผ่านไปยังสถานี repeater แม้ว่าในการส่งอาจเกิด noise และ interference ขึ้น carrier pulse ที่ส่งอาจเสียหายไป ก็ยังสามารถทำการกระตุ้นอีกให้เกิดพัลส์ที่ติดตั้งเดิมได้ ซึ่งแหล่งจ่าย analog voltage เป็นเสียงหรืออุปกรณ์ transducer ก็ได้

ภาคส่งประกอบด้วย oscillator (square wave) และ pulse generator (schmitt trigger or monostable oscillator) สัญญาณ modulating จะเปลี่ยนแปลงความกว้างของพัลส์ของ pulse generator ซึ่งอัตรา repetition ถูกกำหนดโดย oscillator แรงดันควบคุมของ oscillator ถูกมอดูเลต oscillator ก็จะกลายเป็น pulse-position modulator

ในวงจรที่ใช้ในการทดลอง dual timer (LM556) จะใช้สำหรับ oscillator และ pulse generator รูปที่ 1.2 แสดงขาของ LM556 ในรูป 1.2(a) เป็นการแสดงตำแหน่งขาของ pulse generator และรูปที่ 1.2(b) จะเป็น trigger oscillator



รูปที่ 1.3 เป็นวงจรของของภาคส่ง PWM ความถี่ของ oscillator (รูป 1.3b) จะถูกกำหนดโดย $R_6 + R_7$ และ C_1 R_6 และ R_7 จะเป็นกำหนดเวลาในการ charge ของ C_1 (period t_1) R_7 และ C_1 จะกำหนดเวลาในการ discharge (period $t_2 = 0.693R_7C_{1,2}$) เวลาในการ charge (high output) กำหนดโดย $t_1 = 0.693(R_6 + R_7)C_1$ ดังนั้น total period หาได้จาก

$$T = t_1 + t_2 = 0.693(R_6 + 2R_7)C_1$$

และความถี่ของการ oscillator เท่ากับ

$$f_o = 1/T = 1.44 / (R_6 + 2R_7)C_1$$

duty cycle แสดงในรูปของ (%)

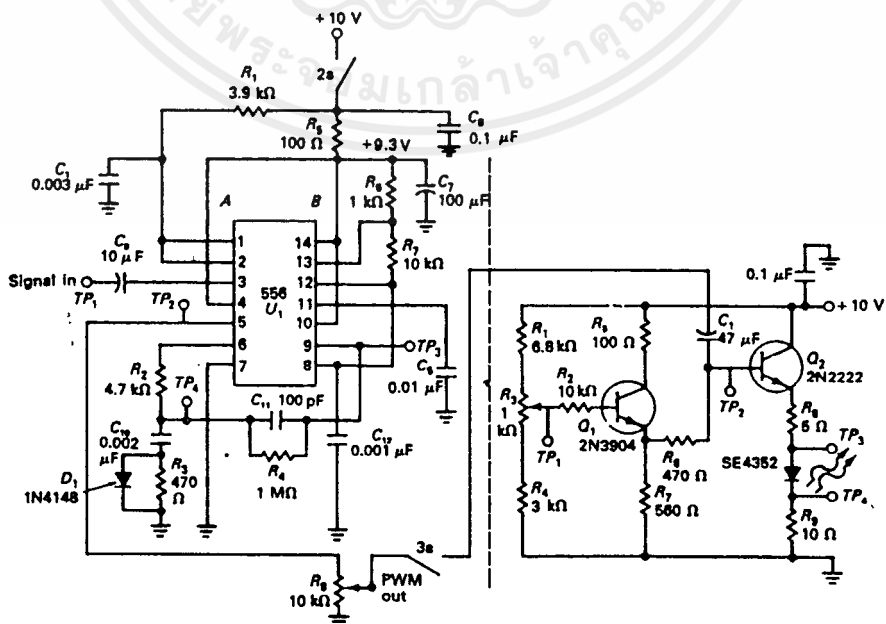
$$D(\%) = \langle T_1 / (T_1 + T_2) \rangle * 100$$

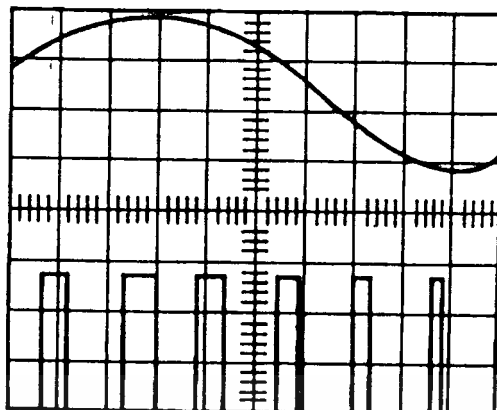
oscillator ควรจะมีความถี่ต่ำกว่าความถี่ของ pulse generator : $f_o = 1/t_1$

oscillator ทั้งสองจะถูก trig โดย negative-going pulse ที่ LM 556 เอาท์พุทจาก astable oscillator (ขา 9) จะส่งไปที่ trigger input (6) ของ monostable oscillator

R_1 และ C_1 จะเป็นตัวกำหนด period ของ monostable pulse generator จากค่าที่กำหนดในวงจร pulse width จะมีค่าประมาณ 7 μ F เอาท์พุทของพัลส์ที่ถูก modulated จะปรากฏขึ้นที่ขา 5 และ modulating input signal จะส่งไปที่ขา 3 รูปที่ 1.4 จะแสดงรูปร่างของ pulse width ที่ผลิตออกมาเมื่อวงจรนี้ถูก modulated โดยสัญญาณรูปคลื่นซายน์

ในขณะที่ทำการทดลองนี้วงจร PWM จะต้องถูก modulated และ pattern ก็จะมาปรากฏขึ้น เอาท์พุทจะถูกส่งไปที่วงจรขับ LED/ IRED





รูปที่ 1.4 รูปร่างของ Pulse-width modulation เมื่อใช้สัญญาณรูปคลื่นไซน์

เครื่องมือและอุปกรณ์

Active devices:

MLKD 77 IRED

556 dual timer

2N 3904 NPN transistor

2N 4921 NPN power transistor (Q_2)

IN 4148 diode

Resistors (ohm):

- 5, 10, 100(2), 470(2), 560

- 1k(2), 3k, 4.7k, 6.8k, 10k

- potentiometer 1k, 10k

Capacitors

100pF, 0.001 μ F, 0.002 μ F, 0.003 μ F, 0.01 μ F, 10 μ F, 47 μ F, 100 μ F

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลอง Pulse-width Demodulation Receiver

scope of study

PWM ภาครับจะใช้ร่วมกับ PWM ภาคส่ง ภาครับจะประกอบด้วย photodiode sensor, active filter และ audio amplifier ผลของภาครับจะเป็นตัวกำหนดช่วงของ demodulation ของสัญญาณ

วัตถุประสงค์

1. หาค่า pulse-width modulated receiver
2. หาค่า pulse-width modulated transmission link
3. หาค่า narrow-bandpass notch filter

การทำงาน

สัญญาณ pulse-width จะประกอบด้วยพัลส์ด้านเดียวซึ่งกำเนิดจาก carrier oscillator oscillator จะทำงานโดยอิสระหรือใช้ crystal ควบคุม ในการทดลองนี้มีจุดประสงค์ที่จะให้ตัว oscillator ผลิตความถี่ 50-60 Hz สามารถใช้ oscillator ที่มีความถี่สูงกว่าได้ ซึ่งก็จะมี ความถี่ในการ modulating สูงกว่า แต่ว่า bandpass ของภาครับและเส้นใยแสง ก็จำเป็นต้อง กว้างกว่า

pulse-width ของพัลส์ที่ส่งจะถูกกำหนดโดยแอมพลิจูดของ modulating voltage พัลส์จะมีการเปลี่ยนแปลงจนกระทั่งเป็นสัญญาณ modulating เป็นเหตุให้ pulse-width ขยายออกไปจนประชิดกับพัลส์ ที่จุดนี้จะเกิด overmodulation และเมื่อไม่มีสัญญาณเสียง อนึ่งพัลส์ที่แคบกว่า, frequency response ที่สูงกว่าจะเป็นที่ต้องการของระบบ

ในการทดลองนี้ เป็นระบบการสื่อสารแบบทางเดียวประกอบด้วยภาคส่งและภาครับ ซึ่งจะมี ส่วนประกอบในแต่ละภาคดังนี้

A: อุปกรณ์ของภาคส่ง

1. Carrier oscillator (ที่เอาท์พุท TP3 ของ LM556 ในรูปที่ 1.3)
2. Pulse generator (ที่เอาท์พุท TP2)
3. Modulating input signal (ส่งไปที่ TP1)

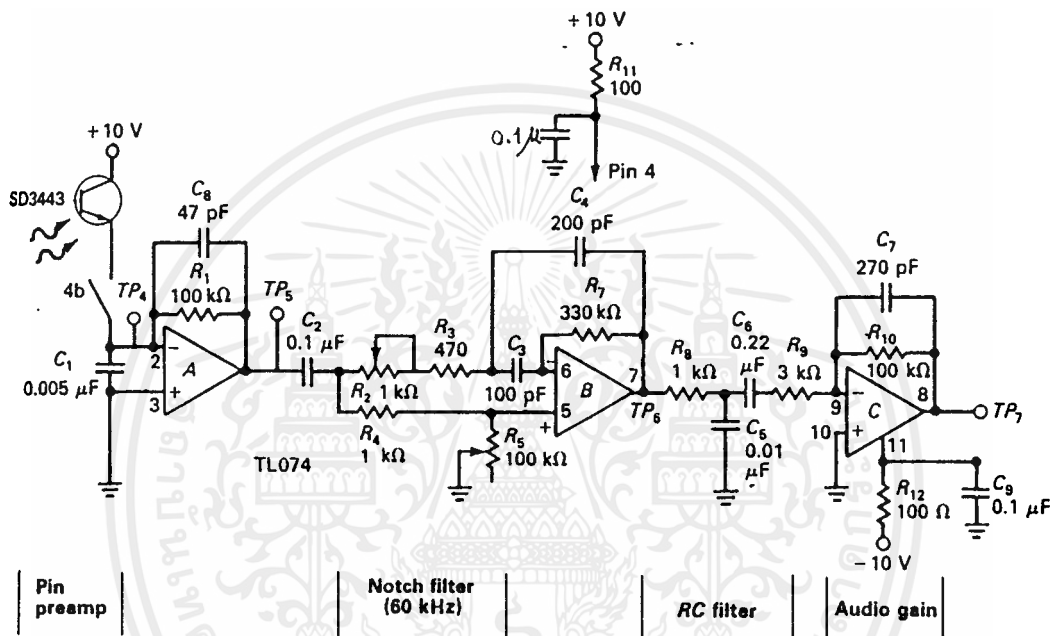
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

4. ตัวเปล่งแสง (IRED)
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บล็อกกราฟภาครับ

1. Phototransistor detector และ amplifier A
2. Carrier filter และ amplifier
3. Audio amplifier C

ภาคส่งและภาครับจะถูกต่อโดยเคเบิลเส้นใยแสง ซึ่งในสายที่มีความยาวมากกว่า (การสูญเสียมากกว่า) และ Gain สูงกว่า จะเป็นที่ต้องการในภาครับ แต่กำลังขับ IRED ก็จะต้องสูงกว่าด้วย



รูปที่ 2. Pulse-width demodulation

ในวงจรภาครับรูปที่ 2. จะใช้ phototransistor ซึ่งถ้าอยู่ในช่วง low rise time เอาท์พุทจะเกิดการ distortion ดังนั้นจึงต้องใช้บล็อกตามที่ให้มาในรูปที่ 2. C_1 จะลดแอมพลิจูดของ carrier frequency หลังจากถูก detect โดย photosensor แล้ว Amplifier A ทำให้เกิด stage gain โดยการควบคุมที่ R_1 สัญญาณที่ถูกขยายแล้วจะส่งต่อไปยัง active notch filter ซึ่งจะปรับไปที่ carrier frequency โดย potentiometer R_2 (1K) และ R_5 (100K) ตัวควบคุม 2 ตัวนี้จะปรับเพื่อให้ carrier signal ต่ำสุดที่เอาท์พุทของ amplifier B ฟิลเตอร์จะทำการลดทอนสูงมาก (มากกว่า 40 dB) เพื่อจูนความถี่

เอาท์พุทของ notch filter จะส่งไปที่ low-pass filter R_6-C_3 จะลดทอน carrier frequency Amplifier C จะสร้าง stage gain เพิ่มเพื่อขยาย audio-modulating signal voltage C_7 จะทำหน้าที่เป็น carrier filtering

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคขยายเป็นส่วนของ quad IC TL074 (เหมือนกับ LF347 หรือ M03403) ซึ่งมี RC carrier filter ไฟบวค($r_{1,1}-c_{1,0}$)และไพลบ($r_{1,2}-c_{1,0}$) ซึ่ง astable oscillator และ pulse generator จะกินกระแสประมาณ 30-40 mA. และ spikes ก็จะถูก bypass ลงไปที่ สายกราวด์

ในระหว่างการทดลองระบบการสื่อสาร PWM นั้นสามารถใช้ส่ง tone signal, speech หรือ data ในระบบจะใช้ low pass filter ที่มากกว่า 10 KHz

เครื่องมือและอุปกรณ์

Active devices:

TL 074 IC BIFET quad

SD 3443 phototransistor

Resistors (ohm.):

- 100(2), 470

- 1K(2), 3.1K, 100K(2), 330K

- potentiometer 1K, 100K

Capacitors:

47pF, 100pF, 220pF, 0.0047 μ F, 0.01 μ F, 0.1 μ F(3), 0.22 μ F

แนะนำ

ระบบภาครับที่แสดงในรูปที่ 2. ใช้ไฟ +10 V. ปิดสวิตช์ 4b (สวิตช์ตัวอื่นจะต้อง off) ต่อ สาย fiber optic ระหว่าง IRED emitter ของ driver กับ photodiode ตั้ง function generator ขนาด 1 V_{pp} ที่ความถี่ 1 KHz และส่งสัญญาณนี้ผ่านไปที่อินพุทภาคส่ง (TP1 ของ PWM รูปที่ 1.3) ในการทดลอง PWM การปรับกระแสที่ตัวขับ IRED ควรให้อยู่ในช่วง 25-30 mA จากนั้นให้ตรวจดูรูปร่างของแรงดันที่ TP3 ของภาคส่งซึ่งจะเป็นสัญญาณที่จะถูกส่งออกไป

การทดลอง Multiplex Transmission

Scope of Study

การมัลติเพล็กซ์ เป็นกระบวนการที่ทำให้สัญญาณจำนวนหลายสัญญาณ สามารถถูกส่งไปได้โดยอาศัยสายเคเบิล เป็นต้นว่าสัญญาณวิทยุ สัญญาณโทรศัพท์ สัญญาณไมโครเวฟ หรือการ Modulate ทางแสงในการส่งผ่านเส้นใยแสง โดยสัญญาณเหล่านี้จะอยู่บน carrier ด้วยเวลาเพียง microseconds

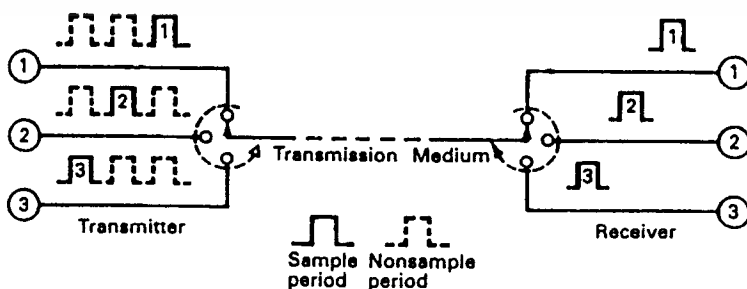
วัตถุประสงค์ ในการทดลองนี้เราจะได้ทราบถึง

1. การที่สัญญาณต่างๆสามารถที่จะเลือกส่งผ่าน หรือรวบรวมขึ้นมาใหม่ในตัวเครื่องรับ
2. ทดสอบ และให้ทราบถึงพื้นฐานของระบบการ Multiplex ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งที่ช่วยให้เราสามารถส่งสัญญาณหลายสัญญาณไปได้ภายในเส้นใยแสงเพียงเส้นเดียว
3. เข้าใจในวิธีการ และหลักการส่งสัญญาณแบบ Multiplex ในเส้นใยแสง

การทำงาน

ระบบ Time-Division Multiplex เป็นพื้นฐานและเป็นวิธีที่นิยมนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย แต่ละสัญญาณที่จะส่งจะต้องถูกต่อเข้ากับสวิตช์กลางในเวลาอันรวดเร็ว โดยตัว motor-driven commutator ซึ่งในปัจจุบันนี้การมัลติเพล็กซ์ถูกกระทำโดย Integrated Circuits (IC) แทน

รูป 1. แสดงถึงหลักการเบื้องต้นของระบบ Switching ซึ่งการ Switching นี้สามารถทำได้โดยการใช่มอเตอร์ขับ หรือวงจร IC (แน่นอนว่าในขณะนี้เราใช้วงจร IC)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูป 1. Basic Multiplex

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

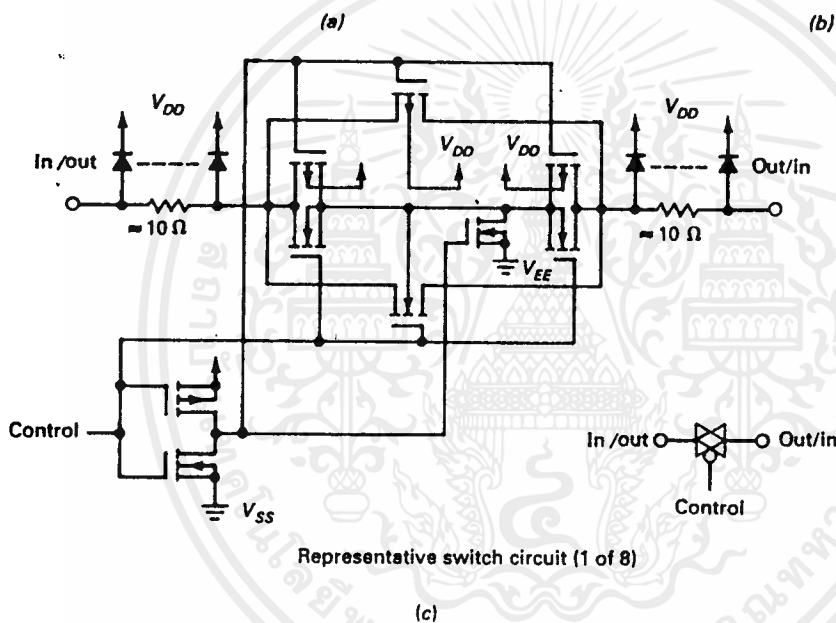
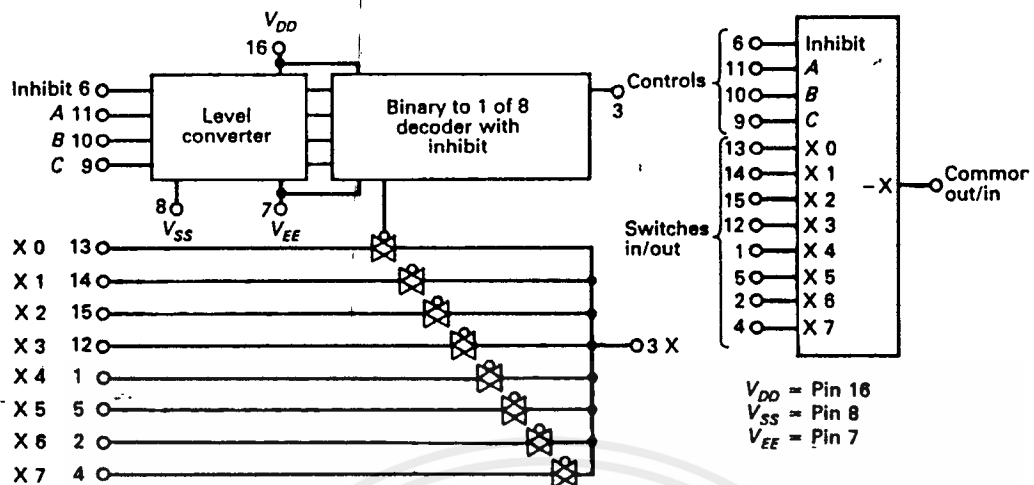
สัญญาณจากแต่ละวงจรหรือแต่ละแหล่ง ขึ้นแรกจะต้องถูกเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณ pulse samples ในระหว่างช่วงเวลา sample สัญญาณจะถูกส่งผ่านออกไป ซึ่งสัญญาณเหล่านี้อาจเป็นได้ทั้ง DC, AC, AM, FM, PWM, PCM หรือสัญญาณแบบอื่นๆ ความเร็วของการ sampling ไม่ได้ถูกกำหนดเอาไว้แน่นอนตายตัว แต่มันจะเป็นตัวกำหนด Band-pass ของระบบ และจะมีผลกระทบมาก ถ้าหากอัตราการ sampling มีค่าน้อยกว่าสองเท่าของความถี่ที่เราจะทำการส่งออกไป สำหรับสัญญาณเสียงในระบบโทรศัพท์ อัตราการ sampling ปกติจะใช้ 8000 Hz หรือสูงกว่านี้ Bandwidth ปกติของสายโทรศัพท์ที่ส่งสัญญาณเสียงจะอยู่ที่ 300 ถึง 3400 Hz และกำหนดช่วงห่างของสัญญาณแต่ละช่อง 600 Hz ที่อัตรา 8000 Hz ในแต่ละเฟรมของเสียง (24 slots) จะใช้เวลาลุ่ม 125 microseconds แต่ละ 24 slots กินเวลา 5.2 microseconds ซึ่งก็คือแต่ละช่องสัญญาณนั่นเอง slots ที่ใช้เวลาน้อยกว่า 5.2 microseconds สามารถใช้ส่งสัญญาณ Audio ในจำนวนช่องสัญญาณที่มากขึ้น และ Bandwidth ก็จะถูกขยายให้มากขึ้นตามไปด้วย

ในการทดลองนี้ อัตราการ sampling จะใช้ประมาณ 400 KHz , Bandwidth ของระบบมากกว่า 1 MHz (ถ้า Bandwidth แคบ จะทำให้การส่งสัญญาณผิดพลาดได้

ที่ทางด้านส่ง และด้านรับ จะต้องมีการ Synchronization กัน เมื่อสัญญาณข้อมูลถูกต้องเข้ากับ Channel ที่ 1. ทางด้านรับก็ต้องอยู่ใน Channel ที่ 1 ด้วย ซึ่งในระบบ Time-Division Multiplexing จะต้องมีการ Synchronize ที่ดี

ปกติแล้ว Marker pulse ที่จะถูกส่งไปจะต้องแตกต่างไปจากข้อมูลอื่นๆในระหว่างการส่งข้อมูล เช่น อาจจะมีระดับที่สูงกว่า หรือมีความกว้างมากกว่า ซึ่งในเรื่องของสัญญาณที่ใช้ที่นี่ไม่สำคัญนัก เพียงแต่ขอให้ทางด้านรับสามารถที่จะตรวจสอบได้ง่าย

ค่า time slots หนึ่ง ในแต่ละช่องสัญญาณ จะหมายถึงเฟรม(Frame) หนึ่ง สัญญาณ Synchronized pulse จะสามารถไปยังเครื่องรับที่จุดเริ่มต้นหรือจุดสุดท้ายของเฟรม ในการทดลองนี้ ตัว marker pulse จะมีขนาดที่สูงกว่า channel pulse ด้วยเหตุนี้ทางด้านรับ ก็จะสามารถรู้จักหรือตรวจสอบได้ และใช้เป็นตัว Lock ใน Local Oscillator ทางเครื่องรับ ตัว Synchronization pulse นี้จะอยู่ในตำแหน่ง time slot ที่ 5.



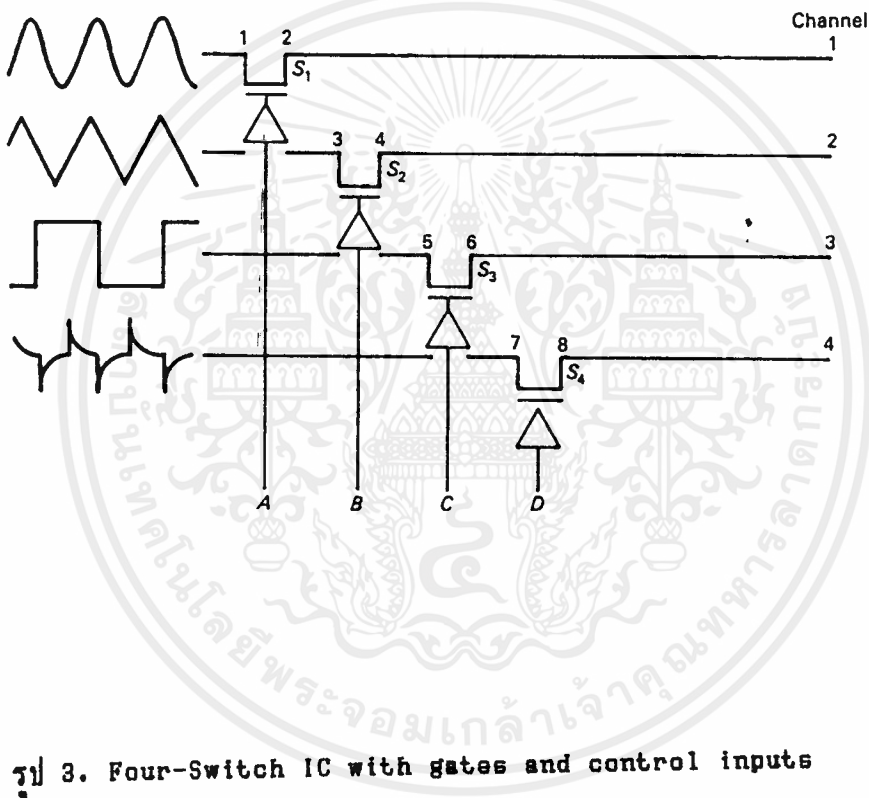
รูป 2. MC 14051B Multiplexer

ในการทดลองนี้เราใช้ IC Analog Switching หรือจะเรียกว่า Commutational Switches ตัวสวิตช์ IC นี้จะถูกจัดเรียงเป็น 4, 8 หรือ 16 ที่ Input และ Output ของ IC สามารถที่จะแยกต่างหาก หรือจัดรวมเข้าเป็นกลุ่มก็ได้ บางชนิดจะมีทางเข้าหลายทางและออกทางเดียว หรือมีทางเข้าทางเดียวแต่ออกหลายทาง

รูป 2a แสดงตัว IC ที่มี 8 inputs และ 1 output รูป 2c (รายละเอียดของรูป 2b) แสดงการต่อวงจร ซึ่งใช้ CMOS technology รูป 2b แสดงถึงวิธีการจัดเรียง gates ต่างๆ ในไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การต่อเพื่อควบคุม input (A,B,C)

สวิตช์แต่ละตัวก็คือ FET และ IC บางตัวจะรวม gates ที่สามารถถูกทริกให้ทำงานได้โดย logic pulse รูป 3. แสดง IC ที่มี 4 สวิตช์ และการแปลงโลจิกกลับ สัญญาณที่แตกต่างกัน 4 ตัว ถูกจัดเรียงตามกัน รูปร่างสัญญาณทั้ง 4 แบบนี้ ถูกสร้างขึ้นจาก Function Generator



รูป 3. Four-Switch IC with gates and control inputs

เมื่อ input A ถูกทริก เกตของสวิตช์ S_1 จะเป็นบวก และค่าความต้านทานระหว่างเทอร์มินัล 1 และ 2 จะตกลงมาจากค่าความต้านทานสูงที่ 10^{12} โอห์ม มาเป็นต่ำกว่า 100 โอห์ม เมื่อปิดสวิตช์ แรงดันของสัญญาณจะผ่านจากเทอร์มินัล 1 ไปยัง 2 สัญญาณจะถูกส่งผ่านไปในช่วงช่วง pulse period เกิดขึ้นที่เกต

แต่ละเกตในมัลติเพลกซ์ ถูกกระตุ้นขึ้นโดย ripple counter และช่วงเวลาจาก Oscillator ดังนั้น เวลาที่รูปคลื่นสี่เหลี่ยมกรวยเฟือง ผ่านไปในแต่ละเกต A,B,C และ D อัตราการส่มจะถูกสร้างขึ้นมาจาก Clock Frequency ใน Oscillator ซึ่งการทำงานของระบบมัลติเพลกซ์สามารถอธิบายได้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า จากวงจรทดลองดังตัวอย่าง ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดลองนี้ ตัว MC 14051B analog multiplexer (U_1) ควบคุมโดยระบบดิจิทัล ถูกใช้เพื่อ sampling สัญญาณอนาล็อกที่ input ไปยังตัวส่งและ IRLED driver , IC 14051 เป็นแบบชั่วคราว 8 ตำแหน่งอิเล็กทรอนิกส์สวิทช์ ในการทดลอง สวิทช์ที่ไม่ถูกใช้ จะถูกต่อลง ground รูป 2a แสดงตำแหน่งขาต่างๆของชิป

ตัวมัลติเพล็กซ์มี 8 inputs อยู่ที่ขา 13,14,15,12,1,5,2 และ 4 ส่วน output ของชิปจะออกทางขา 3 , อัตราโลจิก sampling สำหรับแต่ละช่องสัญญาณจะถูกสร้างขึ้นโดยผ่านทาง Control input A,B และ C ตัวชิปนี้สามารถใช้สวิทช์ความถี่สูงถึง 65 MHz เมื่อช่องสัญญาณ (เกตหรือสวิทช์) 'ON' มันจะมีค่าความต้านทานต่ำกว่า 60 โอห์ม

รูป 4. แสดงถึงวงจรทดลองของตัวส่งมัลติเพล็กซ์ ตัวชิป U_1 ที่มี 8 inputs จะใช้เพียง 5 inputs สังเกตว่าขา 1 ในรูปวงจรจะต่อกับ R_{27} ไปยัง V_{cc} การต่อนี้จะให้ไฟ +5 V. บน Channel 5. เมื่อ digital sampling หมุนมาที่เกทนี้ ไฟ 5 โวลต์ ที่มีความชันมากจะถูกสร้างขึ้นที่ output. และ pulse บวกนี้จะใช้สำหรับการ Synchronizing กับเครื่องรับซึ่งจะอธิบายต่อไปในส่วนของวงจรเครื่องรับ

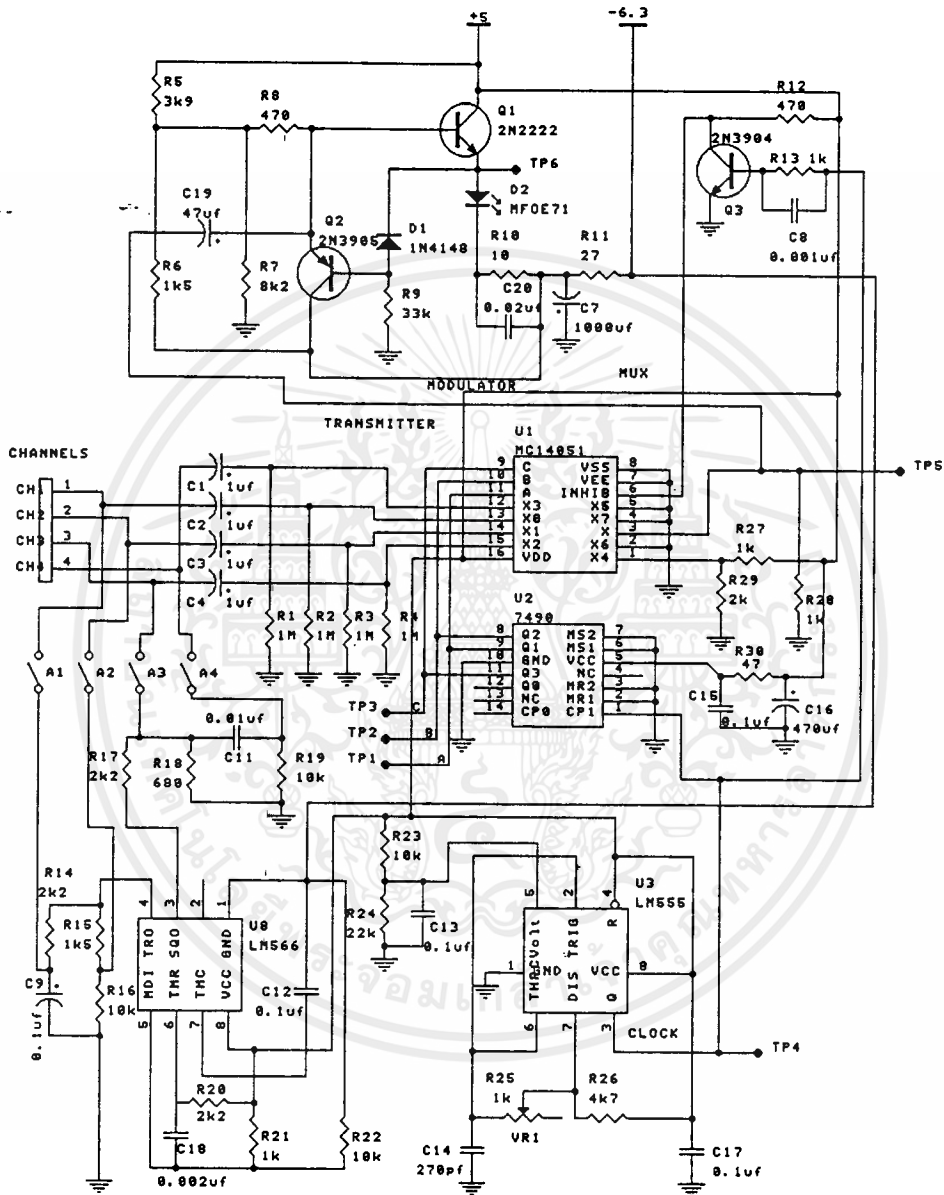
อินพุตทั้ง 4 ของตัวส่งจะเป็นช่องสัญญาณ 1 ถึง 4 และมันสามารถรับแหล่งจ่ายไฟที่เป็นได้ทั้งสัญญาณ analog หรือ digital ที่มีขนาด 5 V. สัญญาณออกที่ขา 3 จะถูกส่งไปยัง Light driver สัญญาณ Light-Modulated จะประกอบด้วยทุกๆช่องสัญญาณ

ตัว IC ที่แทนด้วย U_2 คือ 7490 เป็น Binary counter , IC ตัวนี้จะผลิตสัญญาณ digital sampling pulse ผ่านเข้าไปควบคุมอินพุตของ U_1 และตัว U_2 นี้ยังเป็นตัว Logic driver ที่ควบคุม 3 อินพุต(A,B,C) ของ IC 14051 ตัว Binary counter จะถูกต่อให้นับถึงเพียงแค่ 5 ซึ่งเป็นการควบคุมการปิด เปิดของสวิทช์ทั้ง 4 ตัวตามลำดับ เมื่อเริ่มนับ 6 ตัว U_2 จะกลับมาเริ่มต้นนับ 1 ใหม่ อัตรา sampling ของ U_1 ถูกควบคุมจาก Clock ที่ U_3 (ใช้ LM 555 timer) ความถี่ของ clock นี้ประมาณ 400 KHz ซึ่งค่าความถี่นี้ไม่ได้เจาะจงตายตัวแน่นอน แต่ก็ดังที่กล่าวมาก่อนแล้วว่า มันมีผลต่อการกำหนด Bandwidth ของสัญญาณ ที่สามารถส่งไปในอนาล็อกสวิทช์ ต่อไปนี้เป็นสรุปการทำงานของด้านตัวส่ง

Clock (U_3) กำหนดไว้ที่ความถี่การทำงานเบื้องต้น เพื่อใช้สำหรับการควบคุมให้เกิดการนับ 5 ที่ U_2 ตัวนับ (counter) นี้จะถูกต่อเพื่อการควบคุมส่วนต่างๆของ Analog Multiplexer(U_1) ตัวมัลติเพล็กซ์เซอร์นี้ สามารถทำได้ถึง 8 อินพุต และให้สัญญาณออกเพียงตัวเดียว

การแบ่งโดยการนับ 5 ไปยังอนาล็อกสวิทช์ ที่ input ของสวิทช์แต่ละตัวจะถูก sample ด้วยเวลาสั้นๆ และ output samples นี้จะถูกส่งผ่านไปที่ IRLED driver ดังนั้น การผสมสัญญาณจากสัญญาณต่างๆส่งไปยัง analog multiplexer ตัว oscillator ทำงานที่ความถี่ 400 KHz มีช่วงไม่กว้างนักใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

time period 2.5 microseconds เป็นการควบคุม ลอจิกอินพุท ของชิป มัลติเพลกซ์ ทางอ้อม เมื่อจบการนับครั้งที่ 5 จะเริ่มนับใหม่



รูป 4. Multiplex Transmitter.

(a) Function Generator (b) -6.3 V. Supply

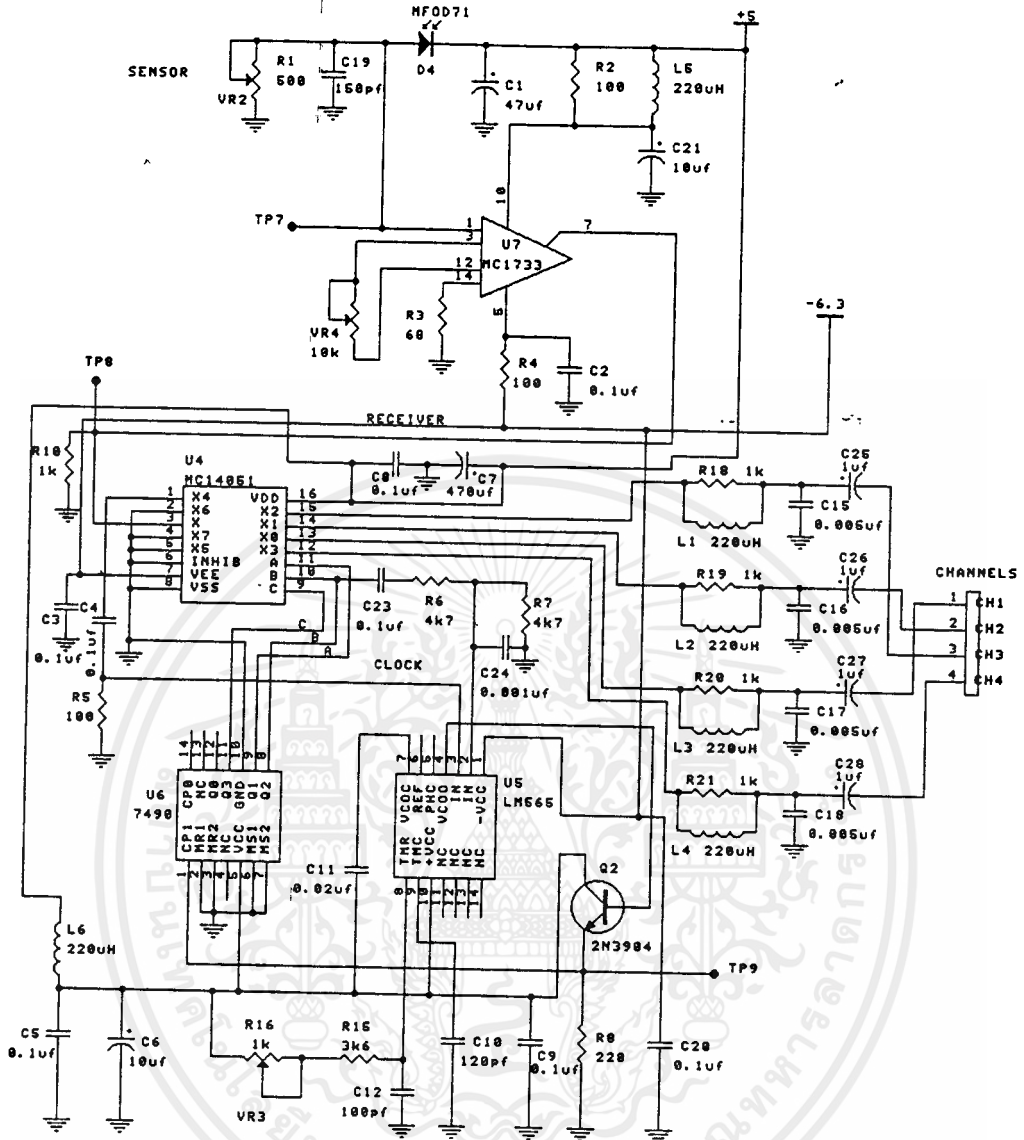
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Transistor Q_1 จะให้ 100-400 nanoseconds Inhibiting pulse ที่ปลายหรือตอนจบของช่วงเวลาของเกทแต่ละตัว ซึ่ง Blank period นี้จะเป็นตัวป้องกันการเกิดการรบกวนข้ามช่องของสัญญาณ

ตัวมัลติเพลกซ์ที่อยู่ในด้านส่ง จะรับสัญญาณ binary pulse และเปลี่ยน pulse เหล่านี้ให้เป็น การนับแบบเลขฐานสิบ เพื่อควบคุมช่องสัญญาณ 1 ถึง 8 ดังที่เคยกล่าวมาแล้วว่า ช่องสัญญาณที่ 5 จะ ถูกเลือกใช้สำหรับการ Synchronizing ของระบบ และมันจะมีการนับถึงแค่ 5 เมื่อเริ่มนับ 6 จะย้อน กลับมาเป็นเริ่มนับ 1 ใหม่ ในขณะที่มีการสร้าง triggering pulse เพื่อรักษาการ Synchronized ของด้านรับกับด้านส่ง

ความถี่ใน transmitter clock (U_1) ถูกกำหนดโดย R 1.5K โอห์ม และ 470 โอห์ม และ C 270 pF เมื่อด้านส่งทำการมัลติเพลกซ์สัญญาณ input ต่างๆ สัญญาณ composite หรือส่วนประกอบของสัญญาณต่างๆ จะสังเกตได้ที่ output (TP_1) สัญญาณ composite นี้จะรวมถึง Synchronizing pulse และช่องสัญญาณอินพุททั้ง 4 สัญญาณ composite นี้เป็นตัวขับ (drive) IRLED ของชุดเครื่องส่ง อันที่ output ถูก couple ผ่านไปในเส้นใยแสง ต่อไปยังชุดเครื่องรับ

สำหรับการทดลองแสดงให้เห็นตามวัตถุประสงค์ ตัวกำเนิดสัญญาณ LM 566 และ RF filter ของมันจะให้กำเนิดรูปร่างของสัญญาณขึ้น 4 แบบ ซึ่งใช้เป็นสัญญาณอินพุท คือมี Square wave, Triangular wave, Sine wave และ Peak pulses สัญญาณทั้ง 4 แบบนี้สามารถเลือกได้ โดยสวิตช์ S_1 ถึง S_4 ถ้าสวิตช์ทั้งหมดยังคงอยู่ในลักษณะ open เราก็สามารถที่จะป้อนสัญญาณชนิดอื่น เข้ามาแทนได้ Jack แบบสเตอริโอแสดงให้เห็นในวงจรช่องสัญญาณทั้ง 2 ของวิทซ์ ก็สามารถถูกมัลติเพลกซ์ได้



รูป 5. Demultiplexing Receiver

ที่ด้านตัวรับ สัญญาณ output ที่มาจากเส้นใยแสง จะถูกรับได้โดย ชิป Demultiplex หน้าที่ของตัวรับ จะเป็นการเลือกเอาสัญญาณชนิดต่างๆที่ส่งมาจากทางเครื่องส่ง และผ่านการขยายสัญญาณที่เหมาะสม เครื่องตัวรับ ดังวงจรที่แสดงในรูป 5 หน้าที่ของมันก็ตรงกันข้ามกับเครื่องส่ง คือ ที่เครื่องส่งจะรับสัญญาณจากหลายช่องสัญญาณ แล้วรวมเข้ามาเป็นส่วนประกอบของสัญญาณคลื่นเดียว ทางตัวรับก็จะได้รับสัญญาณเข้ามา แล้วทำการแยกมันออกมาตามช่องสัญญาณที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางเครื่องรับจะประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญดังนี้

1. ตัว Optical Sensor และ Amplifier สำหรับการแปลงสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า
2. Demultiplexer (U_4)
3. Logic Sequencer (U_5)
4. Phase-Lock Loop comparator และ filter (U_6)
5. VCO (Voltage-Controlled Oscillator) สำหรับ transmitter Synchronization (part of U_6)
6. Q_2 , an emitter-follower (power driver) สำหรับ U_6

สัญญาณแสงจะถูกรับได้โดย Photodiode ว่าจะทำการขยายสัญญาณนี้ขึ้นมาอีกโดย Wideband IC Chip (1733) ดังนั้นมันจะสามารถไปกระตุ้นให้ตัว Demultiplex (U_4) IC ตัวนี้จะมอดูการขยายที่ 10 และ 120 MHz bandpass

กล่าวอีกครั้งหนึ่ง Logic control inputs ของตัวมัลติเพล็กซ์ (ที่ A, B และ C) จะถูกขับ (drive) โดยตัว IC 7490 (U_3) อีกครั้ง ตัวหารด้วย 5 จะถูกใช้เพื่อควบคุมตัวมัลติเพล็กซ์เซอร์ output ของ CH.5 และ output B ของ U_6 จะป้อนให้กับอินพุทของ PLL (Phase-Locked Loop) (ขา 2 และขา 3) ของ U_6 Pulse ทั้ง 2 นี้จะทำงานที่ 80 KHz (ขึ้นอยู่กับ Clock ในเครื่องส่ง) เพื่อเปรียบเทียบกัน และค่า error voltage จะถูกส่งเข้าไปในส่วน VCO ของ U_6 เพื่อนำกลับมาควบคุมตัว divider chip U_6 จากจุดเริ่มต้นการนับ 6 สัญญาณ Synchronizing pulse จาก U_4 จะถูกรับโดย PLL และถูกเปรียบเทียบกับ output ของตัวนับ U_6 ค่า error voltage จะได้รับการแก้ไข และค่า error voltage นี้เองที่นำไปใช้ในการควบคุม VCO (U_6) ของเครื่องรับ เมื่อระบบมีการ Synchronized ที่ถูกต้อง หรือ Locked in สัญญาณ positive-going pulse ที่เครื่องส่งอันที่อยู่ใน CH.5 ซึ่งใช้สำหรับการ Synchronizing ที่เครื่องรับ output ของ CH.1 จะ reflect สัญญาณตัวเดิมกลับไปป้อนเข้า CH.1 ของเครื่องส่ง และเป็นลักษณะเดียวกันนี้ใน CH.2, 3 และ 4

ตัวปรับ clock R_{10} (5K โอห์ม) ในเครื่องรับจะเลื่อนความถี่ oscillator ให้เนืองพอสำหรับค่าผิดพลาดที่ต้องควบคุมไว้ (Lock in)

ดังที่ได้อธิบายเอาไว้ก่อนหน้านี้แล้วว่า จะมีเนือง 5 ช่องสัญญาณเท่านั้นที่ถูกใช้ประโยชน์ภายในชนิด อย่างไรก็ตาม การนับลง หรือการขบวนการหา สามารถใช้สำหรับการควบคุมการเลือกสัญญาณ Analog ต่างๆ และสัญญาณ composite ที่ 50 ถึง 100 สัญญาณที่สามารถถูกมัลติเพล็กซ์ได้ ด้วยเหตุที่กระบวนการ

การหารถูกนำมาเก็ชวข้อง ค่าความถี่ตั้งเดิมของ clock จะถูกเพิ่มค่าขึ้น เหมือนการรวมช่องสัญญาณที่ถูกรวมเข้าไว้ในตัว มัลติเพลกซ์

ในการทดลองนี้เหมาะกับการทดสอบและหาค่าที่ composite ของระบบ ทั้งทางด้านส่งและด้านรับ สัญญาณรูปแบบต่างๆกันจากแหล่งกำเนิด ถูกป้อนเข้ากับ input ของช่องต่างๆ และต่อมาสัญญาณ composite ที่ออกจากเครื่องรับจะถูกตรวจสอบ และทำการแยกแต่ละช่องสัญญาณออกจากกัน

Bandwidth ของสัญญาณ ที่สามารถส่งได้กับความถี่ clock นี้ จะเหมือนกับ Bandwidth ของ LED และ Photodetector ตัว Sensor ที่ใช้ในการทดลองนี้มี Band-pass เกินกว่า 100 MHz แต่มันก็จะถูกจำกัดโดยชนิดของ Photodetector ที่ใช้ และค่า stray capacity ที่เกิดขึ้นในวงจร

ในการวิเคราะห์ระบบ สัญญาณรูปร่างต่างๆสามารถถูกแยกหรือสังเกตได้ สัญญาณรูปรวมหรือ composite wave เช่น สัญญาณรวม Sync.pulse และสัญญาณต่างๆ ถูกส่งผ่านเข้าไปใน 4 ช่องสัญญาณหรือมากกว่านี้ การรู้จักหรือการทราบโดยละเอียด เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการเข้าใจว่า รูปร่างสัญญาณในแบบต่างๆนั้นหมายถึงอะไร

เนื่องจากการ Synchronization ของด้านรับกับด้านส่ง ขึ้นอยู่กับขนาด Amplitude ของ pulse บวกที่เข้ามา มันสำคัญที่ไม่มีเลยในช่องสัญญาณ analog ที่จะให้สัญญาณที่มีขนาดของ amplitude เท่ากันตลอดเหมือนกับ Synchronizing pulse เมื่อมีสัญญาณที่มีขนาดสูงปรากฏขึ้นมา ตัว Synchronizing pulse จะทำการผสมเข้ากับสัญญาณมัลติเพลกซ์ และการสูญเสียหรือการสูญหายของการ Synchronization จะถูกแก้ไข เมื่อระบบเข้าสู่การ Synchronized มันจะ Lock โดยอัตโนมัติที่ด้านรับให้ตรงกับด้านส่ง เพื่อที่จะได้ช่องสัญญาณที่ถูกต้อง

ระบบมัลติเพลกซ์จะถูกนำมาใช้ เมื่อต้องการจะรวมสัญญาณหลายๆช่อง หรือหลายๆสัญญาณเข้าเป็นคลื่นเดียว ซึ่งเทคนิคนี้ได้ถูกนำมาใช้ในระบบของโทรศัพท์ ระบบสื่อสารดาวเทียม ระบบสื่อสารไมโครเวฟ และอื่นๆ จะเห็นได้ว่าเทคนิคนี้สามารถนำมาใช้ในระบบการวัด และการส่งถ่ายข้อมูลข่าวสารจากเครื่องส่งต่างๆที่มีใช้กันอยู่ สัญญาณที่มากมายซับซ้อนสามารถที่จะถูกส่งถ่ายไปโดยสายตัวนำ ไมโครเวฟลิงค์ หรือด้วยการทดลองนี้คือ ผ่านไปในสายไฟเบอร์เส้นใยแสง ซึ่งจะไม่มีผลกระทบจากพวกคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

สรุปแล้ว ระบบทั้งหมดที่ประกอบด้วยการมัลติเพลกซ์ที่ใช้ตัว IC สำหรับการควบคุมการส่งหรือการป้อนสัญญาณจาก ไลจิกอิเวเคอร์ เพื่อเป็นตัวกระตุ้นหรือตัวทริก ให้กับช่องสัญญาณต่างๆตามลำดับ ทางด้านส่งจะถูกควบคุมจากความถี่ clock ด้วยอัตราความเร็ว ไปยังด้านรับ ที่ด้านรับจะใช้คุณสมบัติของ Phase-Lock loop เพื่อการ Synchronize กับด้านส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการติดต่อสื่อสารทางเสียง การมัลติเพล็กซ์ จะประกอบด้วย การเปลี่ยนสัญญาณเสียงให้เป็นสัญญาณโลจิก ซึ่งรูปแบบปกติจะเป็น Pulse-Code Modulation (PCM) ซึ่งจะทำการ Quantize สัญญาณเสียงให้เป็น pulse 8 pulse เรียงกันไป แล้ว pulse เหล่านี้จะถูกทำการมัลติเพล็กซ์ และส่งออกไปในรูปของคลื่นนาฬิกา เพื่องคลื่นเต็ชวเท่านั้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

-เส้นใยแสงชนิดพลาสติก แบบแกนเดี่ยว พร้อม connectors

Active devices

- infrared LED (# MFOE 71)
- Photo detector (# MFOD 71)
- MC14051 (2) 1-to-8 decoder/encoder
- 7490 (2) decade counter
- NE555 timer IC
- NE556 VCO
- NE565 PLL
- MC1733 Op-Amp
- 2N3904 (2) NPN Transistor
- 2N3905 PNP Transistor
- 2N2222 NPN Transistor (driver)
- 2N4918 PNP Transistor (power)
- 1N4148 SI diode
- 1N4736 6.3-V. Zener diode

Resistors

- 10 , 27 , 47 , 68 , 100(3) , 220 , 470(3) , 680 Ohms.
- 1(9), 1.5(3), 2(2), 2.2(3), 3.9, 4.7(3), 8.2, 10.0(3), 22, 33 K-Ohms
- 1 M-Ohms (4)
- potentiometer 500 Ohms , 1 Kohms , 5 Kohms

Capacitors

- 100, 120, 150, 270 pF
- 0.001(2), 0.002, 0.005(4), 0.02(2), 0.01, 0.1(12) μ F
- 1(8), 10(2), 47(2), 470(2) μ F
- 1000 μ F, 15 V.

Inductance : 220 μ H (6)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

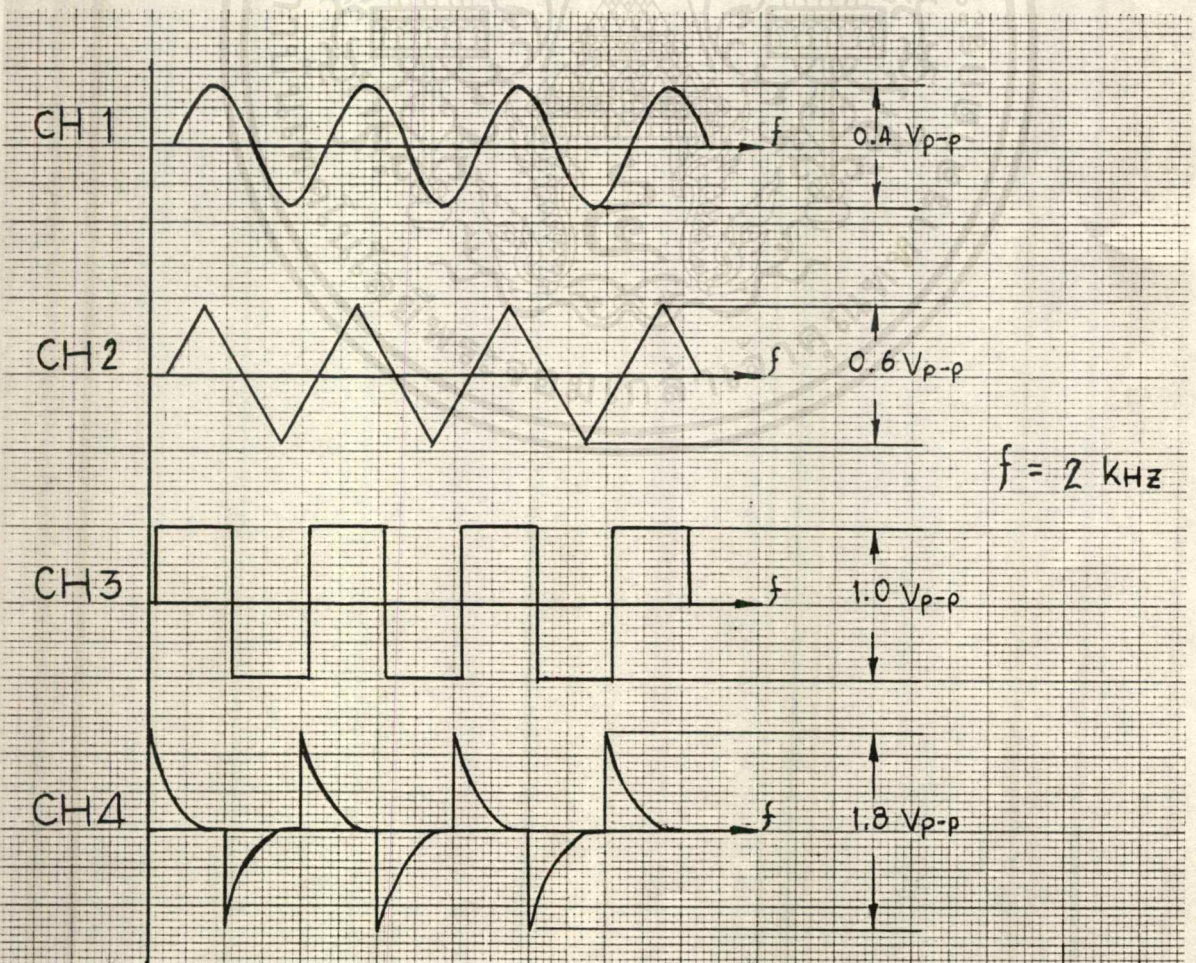
ขั้นตอนการทดลอง

ประกอบและต่อจุดเชื่อมต่อต่างๆของชุดทดลองให้สมบูรณ์ พร้อมทั้งต่อสายไฟเบอร์เส้นใยแสงเชื่อมระหว่างชุด Multiplexer และ Demultiplexer โดยใช้สายไฟเบอร์ยาวประมาณ 1 เมตร (หรือยาวเท่าที่มีอยู่) ซึ่งสายไฟเบอร์ที่ใช้นี้ถ้าเป็นชนิดแกน core แบบพลาสติกต้องระวังอย่างอลายเป็นมมมากเกินไป เพราะอาจจะทำให้สายหักได้

ON Switch Power แล้วทำการทดลองต่อไปนี้

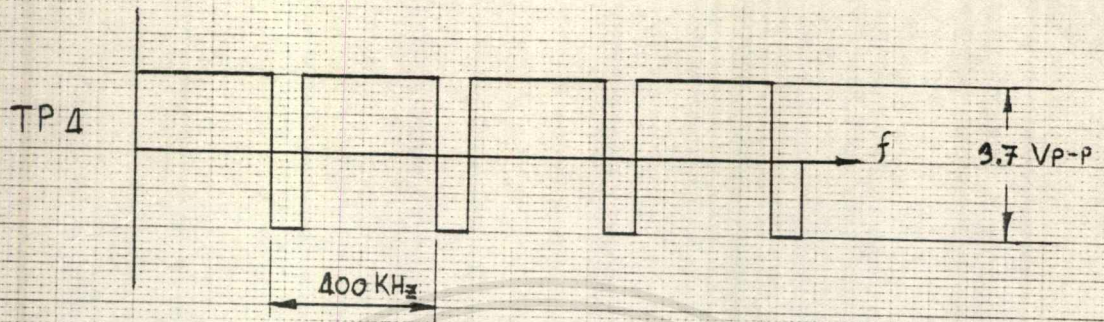
-ที่ภาคส่ง (Multiplexer)

1. ON Sw. S_1 , S_2 , S_3 และ S_4 (เพื่อใช้สัญญาณที่เราสร้างขึ้นมาเองในวงจรทั้ง 4 รูปแบบ) วัดสัญญาณ ณ.ตำแหน่ง CH1 , CH2 , CH3 และ CH4 บันทึกรูปร่างลักษณะของสัญญาณ พร้อมทั้งความถี่ และขนาด(Amplitude)ของสัญญาณ

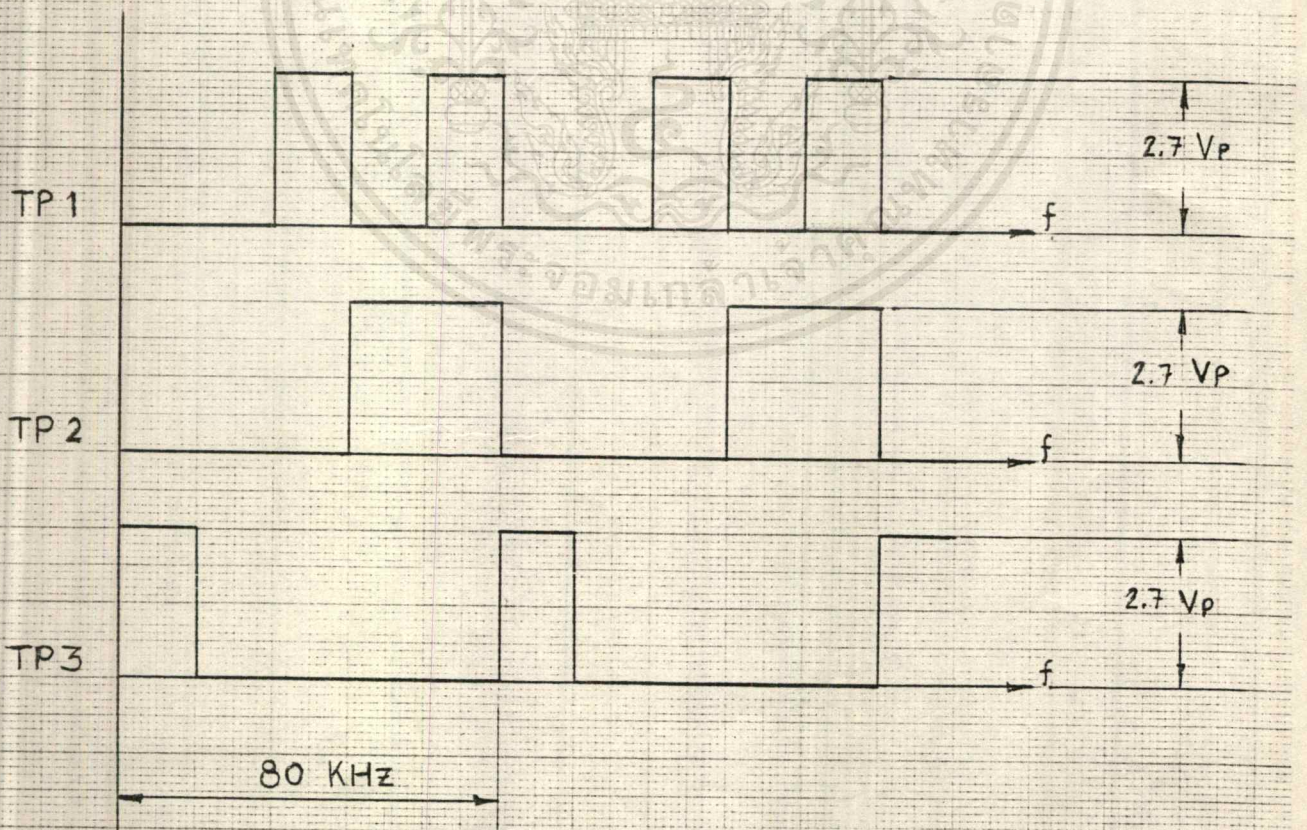


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วัดสัญญาณที่จุดทดสอบ (Test Point) TP₄ ซึ่งเป็นสัญญาณ clock บันทึก รูปร่างลักษณะของสัญญาณ พร้อมทั้งความถี่ และขนาด (Amplitude) ของสัญญาณ



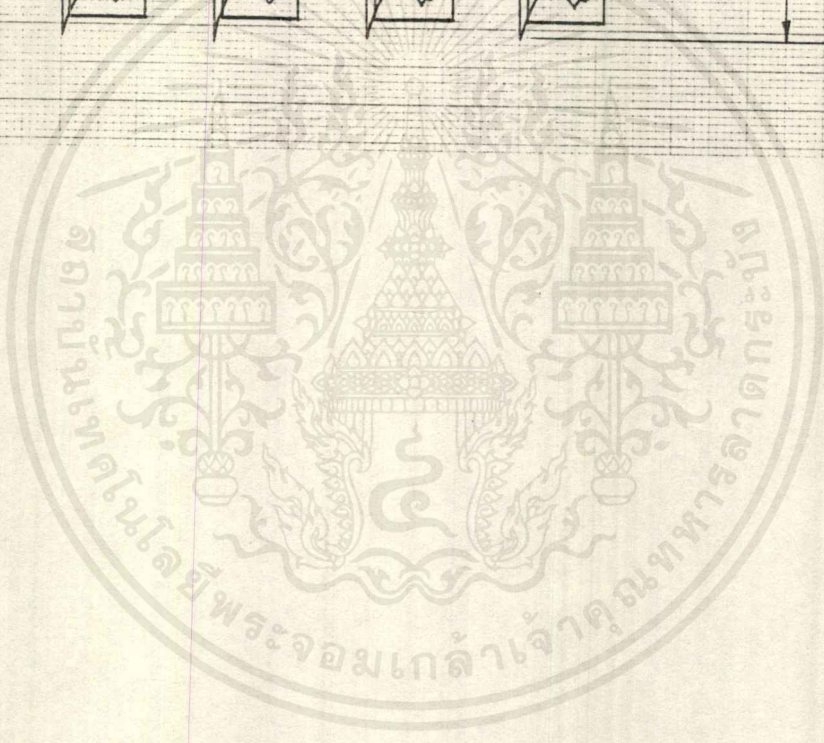
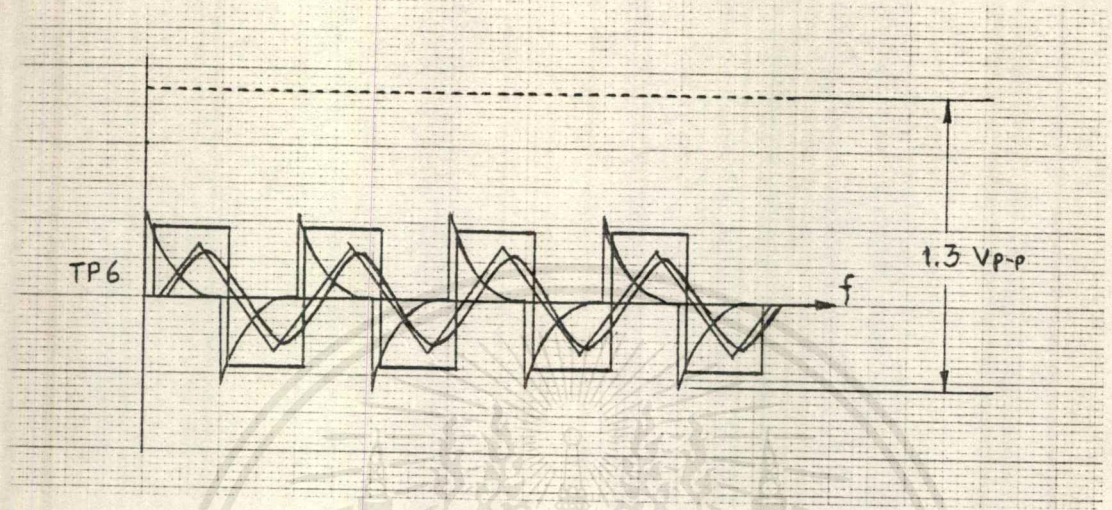
3. วัดสัญญาณที่จุดทดสอบ (Test Point) TP₁, TP₂ และ TP₃ บันทึก รูปร่างลักษณะของสัญญาณ พร้อมทั้งความถี่ และขนาด (Amplitude) ของสัญญาณ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำมาค้าขายหรือใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

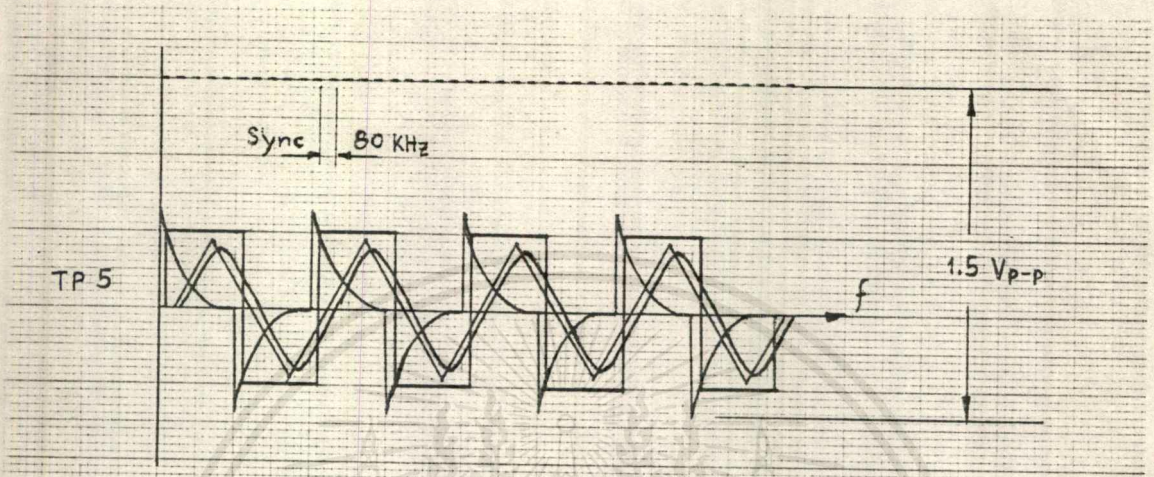
6. วัดสัญญาณที่จุดทดสอบ (Test Point) TP₆ ซึ่งเป็นสัญญาณที่ปรากฏ ณ ตำแหน่งของตัวเปล่งแสง (LED) บันทึก รูปร่างลักษณะของสัญญาณ พร้อมทั้งขนาด (Amplitude) ของสัญญาณ



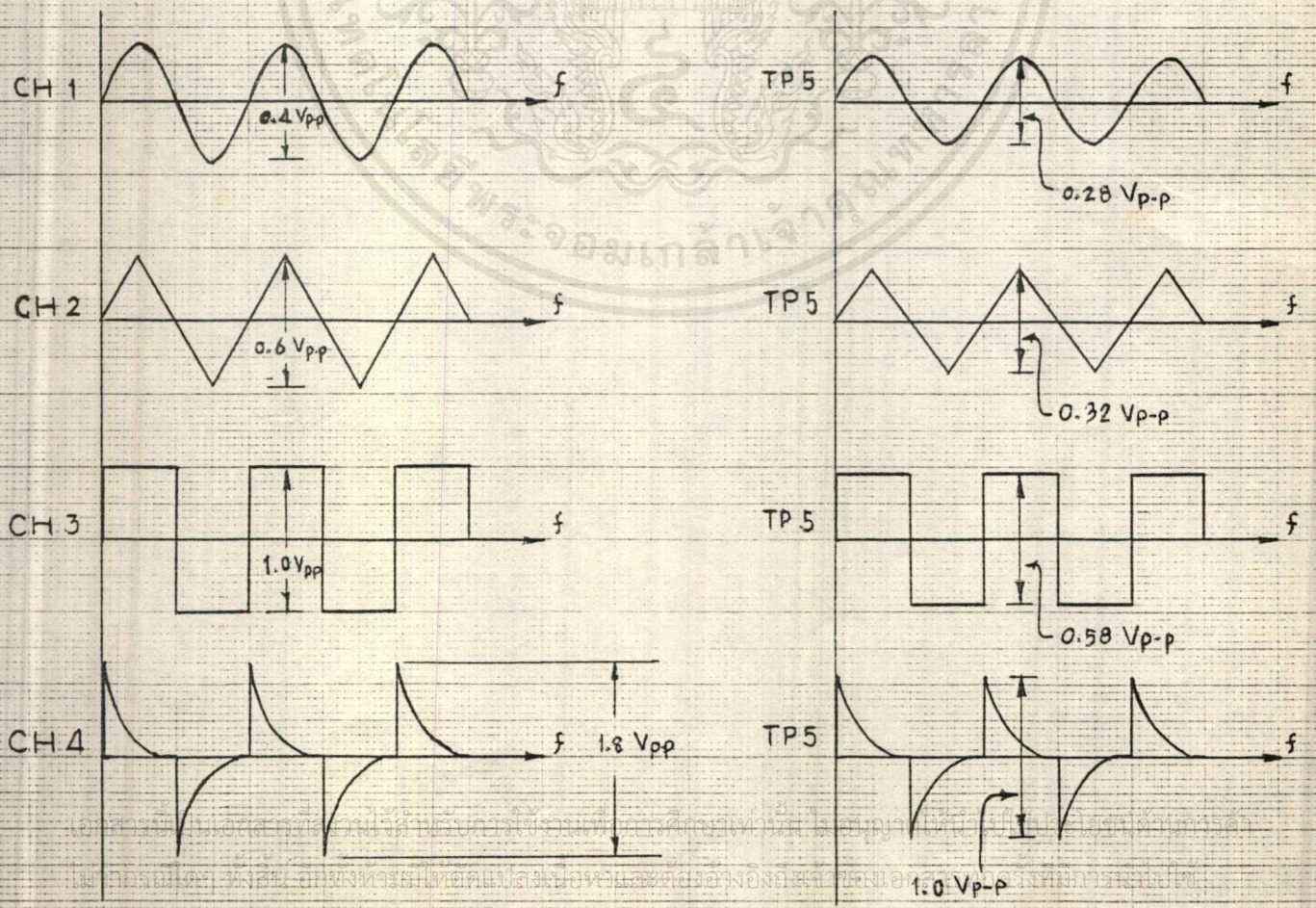
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. วัดสัญญาณที่จุดทดสอบ (Test Point) TP₅ ซึ่งเป็นสัญญาณรวมของทุก Channel หรือ (Composite signal) บันทึก รูปร่างลักษณะของสัญญาณ พร้อมทั้งขนาด (Amplitude) ของสัญญาณ และอ่านค่าความถี่ของ Synchronizing pulse บันทึก

Sync. Freq. = KHz

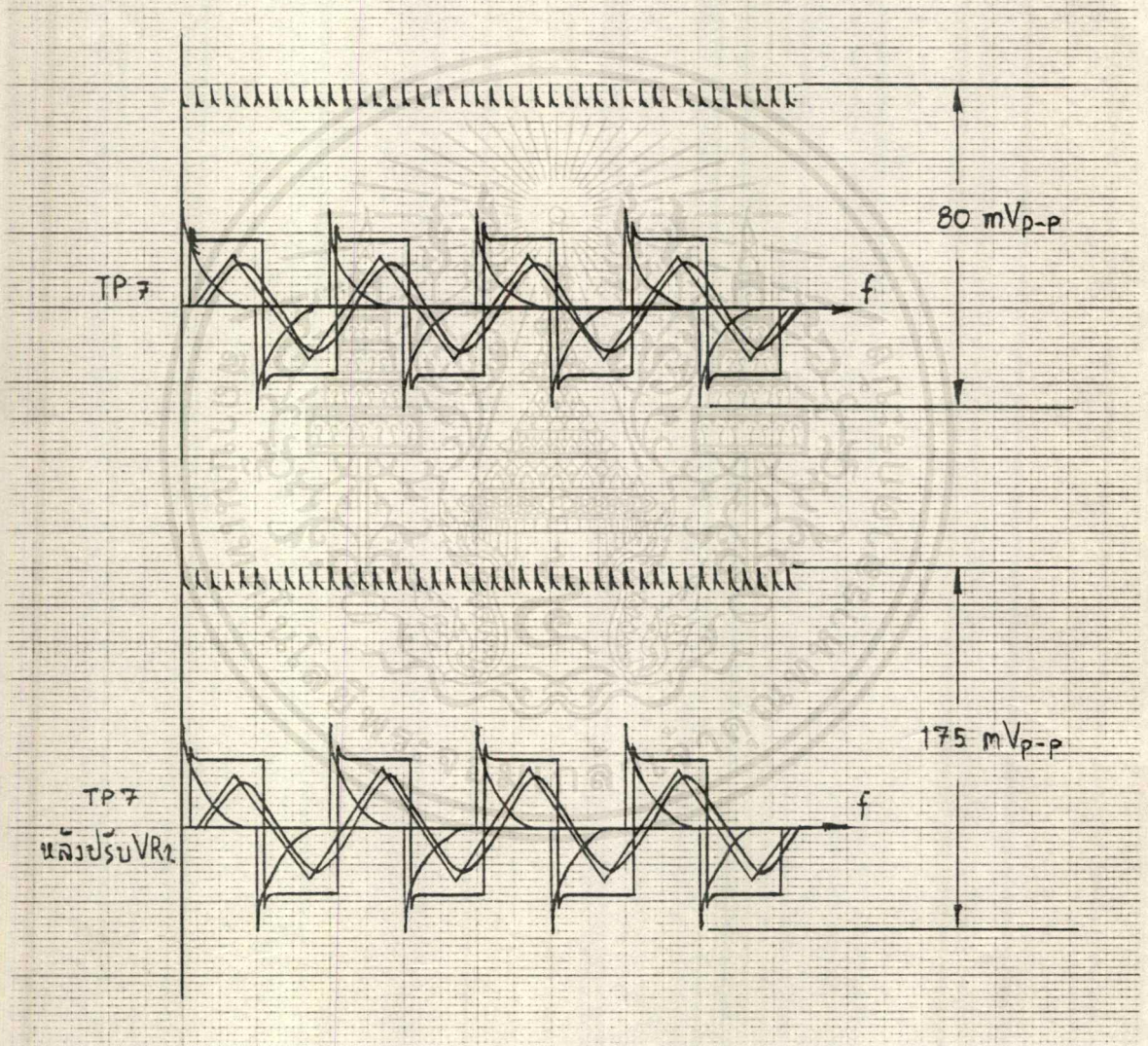


5. วัดและเปรียบเทียบขนาด Amplitude ของสัญญาณที่ channel ต่างๆ กับ Amplitude ที่ปรากฏ ณ. ตำแหน่ง TP₅ ว่ามีลักษณะเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร เพื่อง่ายต่อการสังเกต ควรต่อสวิตช์ป้อนสัญญาณทีละช่องเข้ามา แล้วเปรียบเทียบทีละรูปคลื่น

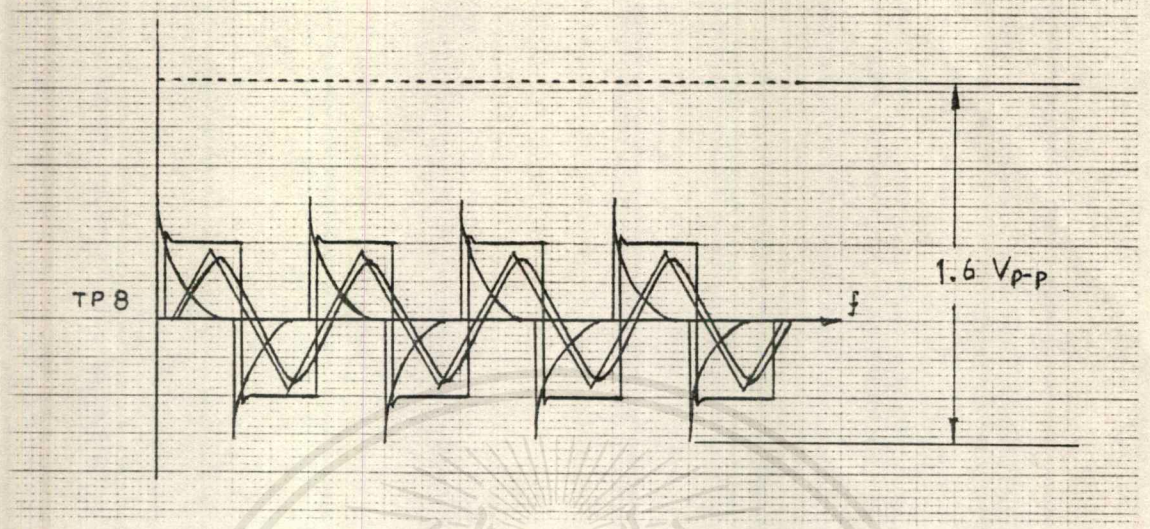


ที่ภาครับ (Demultiplexer)

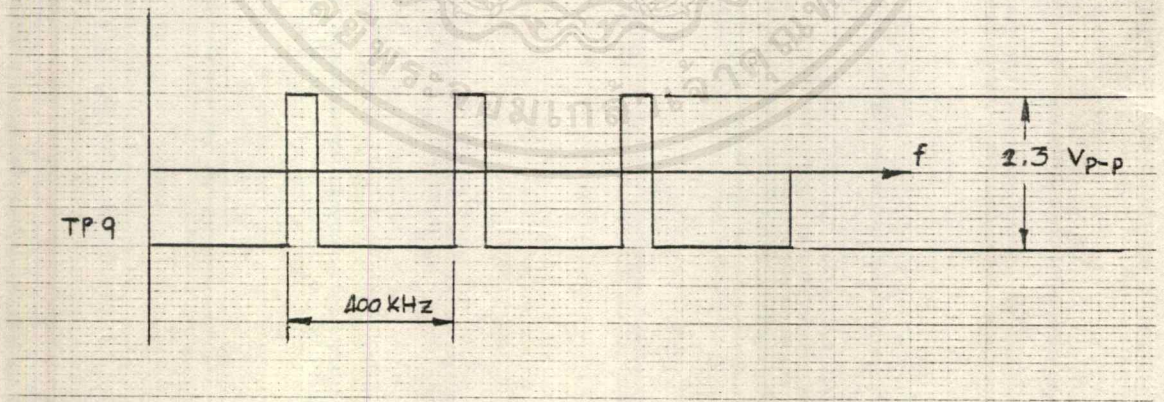
7. วัดสัญญาณที่จุดทดสอบ (Test Point) TP₇ บันทึก รูปร่างลักษณะของสัญญาณ พร้อมทั้งขนาด (Amplitude) ของสัญญาณ (ถ้าวัดได้) จากนั้นให้ทำการปรับค่าความต้านทาน VR₂ เพื่อปรับให้ได้รูปสัญญาณใกล้เคียงกับรูปสัญญาณ ณ.ตำแหน่ง TP₆ ของภาคมัลติเพลกซ์ให้มากที่สุด บันทึกผล



8. วัดสัญญาณที่จุดทดสอบ (Test Point) TP₈ ซึ่งเป็น input ของ IC Demultiplex (MC14051B) บันทึก รูปร่างลักษณะของสัญญาณ พร้อมทั้งขนาด (Amplitude) ของสัญญาณ

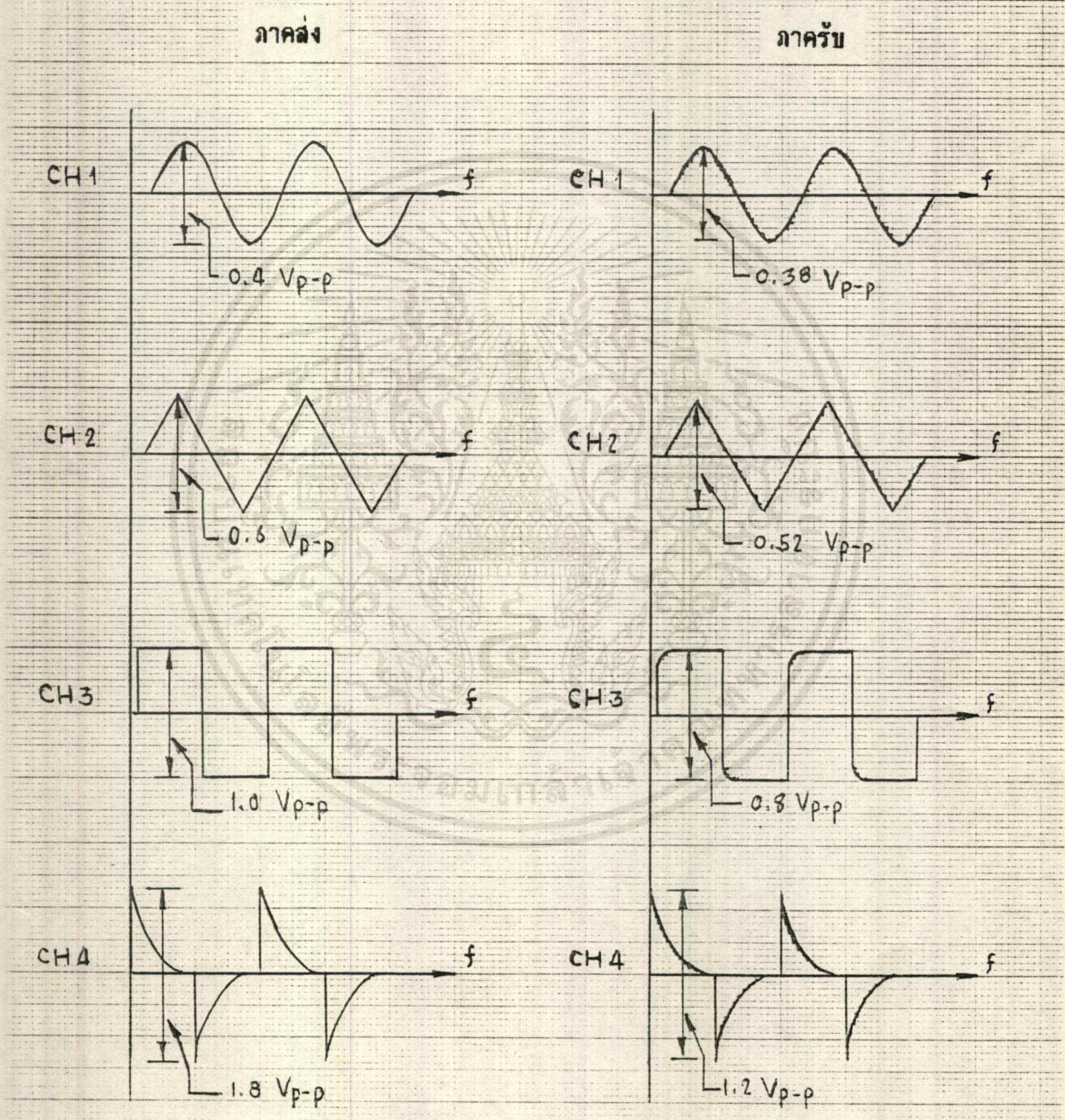


9. วัดสัญญาณที่จุดทดสอบ (Test Point) TP₉ ซึ่งเป็นความถี่ของวงจร Phase-Locked Loop (LM 565C) บันทึก รูปร่างลักษณะของสัญญาณ พร้อมทั้งขนาด (Amplitude) ของสัญญาณ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. วัดสัญญาณที่จุดของ Channel ที่ 1, 2, 3 และ 4 ของภาครับ (Demultiplex) เปรียบเทียบกับสัญญาณของ Channel ที่ 1, 2, 3 และ 4 ของภาคส่ง (Multiplexer)
บันทึก รูปร่างลักษณะของสัญญาณ พร้อมทั้งขนาด (Amplitude) ของสัญญาณ



11. ป้อนสัญญาณจากแหล่งกำเนิดภายนอก (ซึ่งจะเป็นสัญญาณในรูปแบบใดก็ได้) แทนลงในข้อ 1. แล้วทำการทดลองย้อนตั้งแต่ข้อ 1 ถึง 10. ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำถามท้ายการทดลอง

1. ความถี่ clock ที่ใช้ในการทดลองนี้เปลี่ยนแปลงได้หรือไม่ เพราะเหตุใด ?
2. Channel ในส่วนของภาคส่ง (multiplexer) ควรมีค่าความต้านทานเท่าไร ?
3. ถ้าเราเพิ่มจำนวน channel ให้มากขึ้น ความถี่ clock ควรเปลี่ยนแปลงอย่างไร ?
4. เพื่อการ Sync. ระหว่างภาคส่งและภาครับ สัญญาณพิเศษที่ใช้เป็นสัญญาณ Sync. ควรให้ปรากฏอยู่ ณ ตำแหน่งใดของเฟรมข้อมูล ?
5. ในการทดลองนี้เราได้ทำการแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณแบบดิจิทัล ก่อนที่จะทำการส่งผ่านเข้าไปในเส้นใยแสงหรือไม่ ?
6. ถ้าสัญญาณทางขาออก (output) ของภาครับ (Demultiplexer) มีขนาด Amplitude ต่ำ เราจะมีวิธีการแนะนำปรับปรุงอย่างไรให้ดีขึ้น ?
7. จะมีผลกระทบอย่างไรบ้าง ถ้าหากความถี่ของ clock ต่ำๆ
8. ถ้าความถี่ของสัญญาณ = 5 KHz ความถี่ของ clock ต่ำสุดที่สามารถใช้ได้จะเป็นเท่าไร ?
9. ทำไมเราจึงใช้ Tr. MC1733 เพื่อการขยายสัญญาณก่อนเข้าไปยัง input ของ IC Demultiplex
10. ระบบ Multiplex สามารถนำไปใช้กับงานอย่างอื่นได้หรือไม่ ยกตัวอย่างประกอบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอบคำถาม

1. ความถี่ clock ไม่ได้กำหนดตายตัว สามารถที่จะเปลี่ยนแปลงได้ แต่ต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 2 เท่าของความถี่สัญญาณอินพุต และความถี่นี้จะเป็นตัวกำหนด Band-pass ของระบบด้วย
2. ต่ำกว่า 100 โอห์ม
3. ความถี่ clock จะต้องเพิ่มมากขึ้นด้วยจึงจะดี
4. ตำแหน่งเริ่มต้น หรือปลาย ของเฟรม (frame)
5. ไม่ , ซึ่งความจริงแล้ว การส่งสัญญาณโดยผ่านเส้นใยแสงนั้น สัญญาณแบบดิจิทัลจะส่งได้ดีที่สุด มีความเพี้ยนหรือความผิดพลาดของสัญญาณต่ำมาก แต่ในวงจรการทดลองนี้ เราส่งสัญญาณอนาล็อกผ่านไปโดยตรงเลย เพื่อต้องการศึกษาถึงในด้านของสัญญาณแบบอนาล็อกอย่างเดียว และเป็นการประหยัดวงจรลงเพราะไม่ต้องมีวงจรที่ใช้สำหรับเปลี่ยนระหว่างสัญญาณอนาล็อกกับดิจิทัล
6. - เพิ่มอัตราขยายของ U_7 (Tr.MC 1733) หรือที่ Channel ที่เราต้องการ
 - เพิ่มความแรงของแหล่งกำเนิด หรืออินพุต ที่ภาคส่ง
 - พยายามลดความสูญเสีย (Loss) ในสายเคเบิลให้มันน้อยที่สุด
7. ความถี่ในการ sampling จะต่ำลง ทำให้ได้สัญญาณที่ผ่านการส่งออกมานั้นหายาก หรือไม่ละเอียดเท่าที่ควร จะมีผลมากต่อสัญญาณ output ทางภาครับ
8. ต้องไม่ต่ำกว่า 10 KHz (คือต้องมากกว่า 2 เท่าของอินพุต)
9. เพราะ Tr.MC 1733 มี Bandpass ที่กว้างมาก สามารถตอบสนองได้ดี
10. สามารถนำไปใช้ได้อย่างกว้างขวาง ในปัจจุบันนี้ได้ถูกนำไปใช้ในระบบไมโครเวฟ และระบบการสื่อสารดาวเทียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป

สัญญาณหลายๆรูปแบบ ในหลายช่องสัญญาณ (Channel) สามารถรวมเข้าเป็นสัญญาณรวมรูปเดียว (Composite signal) โดยเทคนิคของการมัลติเพล็กซ์ ส่วนการเลือกเอาสัญญาณออกจากช่องสัญญาณทางด้านรับให้ถูกต้องก็สามารถทำได้โดยเทคนิคของการดีมัลติเพล็กซ์ ซึ่งจะทำงานในลักษณะตรงกันข้ามกับภาคส่ง

สัญญาณ composite สามารถส่งผ่านเส้นใยแสงได้เลยโดยไม่ต้องมีการเปลี่ยนเป็นสัญญาณแบบดิจิทัลก่อน แต่จากผลการทดลอง จะพบว่ามัลติเพล็กซ์แบบอนาล็อก แต่ก็แทบจะไม่มีผลกระทบเลย

ในระบบการมัลติเพล็กซ์และดีมัลติเพล็กซ์ ส่วนที่เป็นปัญหาที่ยากมากที่สุด คือการ Synchronization ของภาคส่ง-รับ ซึ่งเราใช้เทคนิคการล็อกสัญญาณโดยการเปรียบเทียบเฟส (ให้หลักการของ Phase-locked Loop)

จากผลการทดลองว่า การใช้เส้นใยแสงเป็นตัวกลางในการส่งถ่ายสัญญาณนั้น สามารถกระทำได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง กล่าวคือสัญญาณจากทางด้านส่งจะมาปรากฏที่ทางด้านรับอย่างถูกต้อง มีความเพี้ยนของสัญญาณน้อย มี noise ต่ำ อีกทั้งการบิดงอหรือโค้งงอของเส้นใยแสงก็เกือบจะไม่มีผลต่อการส่งผ่านสัญญาณเลย ซึ่งมันก็คือความยืดหยุ่นสูงของการใช้งานเส้นใยแสง ยกเว้นแต่ที่เราจะโค้งงอเส้นใยแสงมากจนเป็นมุมเล็กๆ หรือขดเป็นวงกลมเล็กๆ สัญญาณจึงจะเกิดการสูญเสีย คือขนาดของสัญญาณจะเล็กลง และจากการทดลองจะพบว่าสัญญาณจะลดลงเฉพาะขนาดเท่านั้น แต่รูปลักษณะของตัวสัญญาณจะยังคงที่อยู่ ดังนั้นถ้าเรานำมาผ่านวงจรขยายที่มีคุณภาพสูง เราก็จะสามารถได้รับสัญญาณที่มีความถูกต้องสมบูรณ์เหมือนเดิม

สัญญาณที่เดินทางอยู่ในเส้นใยแสงจะไม่ถูกรบกวนจากสัญญาณต่างๆ ภายนอกเลย ไม่ว่าจะเป็นการรบกวนจากสนามแม่เหล็ก จากสนามไฟฟ้า จากคลื่นความถี่วิทยุ หรืออะไรอย่างอื่นที่มีอยู่ทั่วไปรอบๆ ตัวเรา โดยเหตุผลนี้เส้นใยแสงจึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ แทนสายเคเบิลธรรมดาได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งการส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแสงสามารถส่งไปได้ด้วยความเร็วสูง (ความเร็วของสัญญาณที่เคลื่อนที่ในเส้นใยแสงประมาณเท่ากับความเร็วของแสง)

ปัญหาที่พบในการทดลอง

ในการทดลอง มักประสบปัญหาหลายประการ เป็นต้นว่า

1. การตัดสายเส้นใยแสง ให้ได้หน้าตัดฉาก และให้ได้รอยตัดที่เรียบสม่ำเสมอ เพื่อให้การส่งผ่านของเส้นใยแสงเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพสูงที่สุด ทำได้ยากมาก

เหตุผลและแนวทางการแก้ไข

เนื่องจากว่าเราไม่มีเครื่องมือสำหรับการตัดเส้นใยแสงโดยเฉพาะ ดังนั้นจึงใช้ใบมีดที่คมๆ มาใช้แทน โดยอาศัยความเปราะของเส้นใยแสง คือนำเส้นใยแสงมาทาบบนวัตถุทรงกระบอก เนื่องจากโค้งเส้นใยแสง จากนั้นให้ใช้ใบมีดกดลงบนเส้นใยแสงตรงจุดที่จะตัด จะเกิดรอยขีดเล็กๆขึ้นมา แล้วในขณะที่เดียวกัน ความเค้นจากแรงดึงอันเนื่องมาจากการโค้งงอ ที่ให้แก่เส้นใยแสง จะสามารถตัดให้ขาดได้ โดยจะได้รอยตัดที่ตีพอสมควร หรือใช้ใบมีดที่คมๆ ตัดลงไปบนเส้นใยแสงตรงๆเลยก็ได้ และจากการที่ในการทดลองนี้เราใช้เส้นใยแสงที่มีความยาวไม่มากนัก ความสูญเสีย หรือความลดทอนของสัญญาณที่เกิดขึ้นเนื่องจากรอยตัดจึงไม่ค่อยมีผลมากนัก

2. การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ทางแสง กับเส้นใยแสง ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

เหตุผลและแนวทางการแก้ปัญหา

เนื่องจากว่าถ้าการเชื่อมต่อระหว่างตัวกำเนิดแสง หรือตัวรับแสงเข้ากับเส้นใยแสง โดยที่ไม่มี การบีบลำแสงให้มีขนาดที่เล็กพอแล้วละก็ แสงจะทำให้แสงเกิดการสูญเสียไปเป็นอย่างมาก คืออุปกรณ์ตัวกำเนิดแสงนั้นจะกระจายแสงออกมากทุกทิศทาง ทำให้มีแสงบางส่วนที่ไม่สามารถผ่านเข้าไปในเส้นใยแสงได้ จึงเกิดการสูญเสียของแสงขึ้น และแสงที่ได้จากตัวกำเนิดแสงนั้นก็มีความเข้มที่ต่ำอยู่แล้ว ถ้ามีการสูญเสียไปอีกก็อาจจะทำให้ แสงไม่สามารถเดินทางจากปลายสายด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งก็เป็นได้ หรือถ้าผ่านไปได้อีก ก็เป็นเพียงส่วนน้อยเท่านั้น ทางด้านอุปกรณ์รับแสงก็จะไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลก็คือทางภาครับจะมีโอกาสเกิดความผิดพลาดได้โดยง่าย หรืออาจจะรับสัญญาณไม่ได้เลย การแก้ไขก็คือ ให้ใช้อุปกรณ์พิเศษที่ถูกออกแบบขึ้นมาเพื่อการเชื่อมต่อนี้โดยเฉพาะ เช่น MFOE 71 และ MFOB 72 ซึ่งพอจะหาซื้อได้ในท้องตลาด อุปกรณ์พิเศษเหล่านี้จะทำให้การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ทางแสงกับเส้นใยแสงมีความสูญเสียน้อยที่สุด

3. เมื่อใช้แหล่งจ่ายไฟชุดเดียวกัน จ่ายให้ทั้งวงจรทางภาคส่งและภาครับ จะมีผลทำให้เกิดความเพี้ยน และเกิดการลดทอนของสัญญาณเป็นอย่างมาก

เหตุผลและแนวทางการแก้ไข

สาเหตุนี้เนื่องมาจากการดึงกระแสจากแหล่งจ่ายไฟ ของอุปกรณ์ต่างๆ ในวงจรมีมากเกินไปนั้น ถ้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอง ซึ่งก็หมายความว่าแหล่งจ่ายไฟที่ใช้ในการทดลองนี้ มีความสามารถในการจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ไม่มากพอ เมื่อกระแสไฟ และแรงดันในวงจรตกลงไปเนื่องจาก load ที่กล่าวถึงนี้ ก็จะเป็นผลทำให้เกิดการลดทอน และเกิดการบิดเบือนของสัญญาณขึ้น การแก้ไขก็ทำได้ง่ายคือ ให้เราแยกแหล่งจ่ายไฟของภาครับและภาคส่ง ให้เป็นอิสระต่อกัน หรือให้เปลี่ยนแหล่งจ่ายไฟใหม่ที่สามารถจ่ายกระแสให้กับวงจรได้อย่างเพียงพอ ปัญหานี้ก็หมดไป และเราควรพยายามทำให้แหล่งจ่ายไฟตรงที่สามารถจ่ายไฟตรงที่เรียบที่สุด โดยเราอาจจะใช้ Battery ขนาด 9 V. เลขก็ได้ ถ้ามันสามารถที่จะจ่ายกระแสได้มากพอสำหรับวงจร แต่ในความเป็นจริงแล้วเราจัดหา Battery ที่มีกระแสสูงๆ ได้ยาก ดังนั้นเราอาจจะใช้วงจร DC Converter DC มาต่อเพิ่มเข้าไป เพื่อให้ได้สัญญาณไฟตรงที่เรียบยิ่งขึ้น

4. ในการทดลองชุดรับ - ส่งมัลติเพล็กซ์ (multiplexing-Demultiplexing) มีปัญหาด้านการ Synchronizing ระหว่างภาคส่งกับภาครับ ทำให้ที่ภาครับไม่สามารถตรวจจับสัญญาณในแต่ละ Channel ได้อย่างถูกต้อง

เหตุผลและแนวทางการแก้ไข

เนื่องจากการส่งข้อมูลจากที่ส่งและการรับข้อมูลที่ภาครับจะต้องมีการ Synchronized ที่ถูกต้อง และแม่นยำ โดยที่ภาคส่งจะต้องมีการส่งสัญญาณ sync. ออกไปพร้อมกับสัญญาณข้อมูลด้วย ดังนั้นที่ภาครับก็จะต้องมีการตรวจจับสัญญาณ sync. ที่ว่านี้ออกมาให้ได้ ซึ่งในชุดทดลองนี้เราใช้เทคนิคของ Phase-Locked Loop โดยจะทำการเปรียบเทียบ Phase ของสัญญาณความถี่ให้เริ่มต้นที่เวลาเดียวกัน(ก่อนอื่นเราจะต้องสร้างความถี่ clock ให้มีค่าเท่ากันเสียก่อนทั้งที่ภาคส่งและภาครับ) เมื่อความถี่และเฟสของสัญญาณควบคุมที่ต้องการต่างๆ สามารถทำให้มีค่าเท่ากันทั้งภาคส่งและภาครับแล้ว การ Synchronized ก็จะเกิดขึ้น เราก็จะได้สัญญาณที่ถูกต้องออกมาจาก channel ที่ถูกต้อง

5. เกิด noise , distortion และเกิด Loss ในระบบ

เหตุผลและแนวทางการแก้ไข

สาเหตุของการเกิด noise ในระบบนั้นอาจเกิดขึ้นมาได้จากหลายๆสาเหตุด้วยกัน การกำจัด noise ให้หมดไปนั้นทำได้ยากมาก การแก้ไขก็อาจทำได้โดยการใช้อุปกรณ์ที่มีคุณภาพสูงๆ ใช้สายต่อสัญญาณที่จุดต่างๆ ในวงจรให้สั้นและแน่นหนา ให้มีค่าความต้านทานที่จุดต่อที่น้อยที่สุด อุปกรณ์พวก R,C ควรเลือกใช้ชนิดที่มีคุณภาพสูงและมีค่าความผิดพลาดต่ำ

แนวทางพัฒนาต่อไป

เราจะเห็นว่า เส้นใยแสงสามารถนำมาประยุกต์ใช้งาน ได้อย่างกว้างขวาง ในขั้นต่อไปควรที่จะพัฒนาชุดทดลองเกี่ยวกับการใช้ตัวกลางที่เป็นเส้นใยแสงนี้ ให้มีความสามารถในการรับ และส่งสัญญาณได้หลายชนิด (เป็นต้นว่า ให้สามารถส่งสัญญาณภาพและเสียงได้พร้อมกัน) หรือพยายามทำให้ระบบสามารถที่จะส่งสัญญาณ หรือข้อมูลได้จำนวนมากยิ่งขึ้นในเวลาเดียวกัน

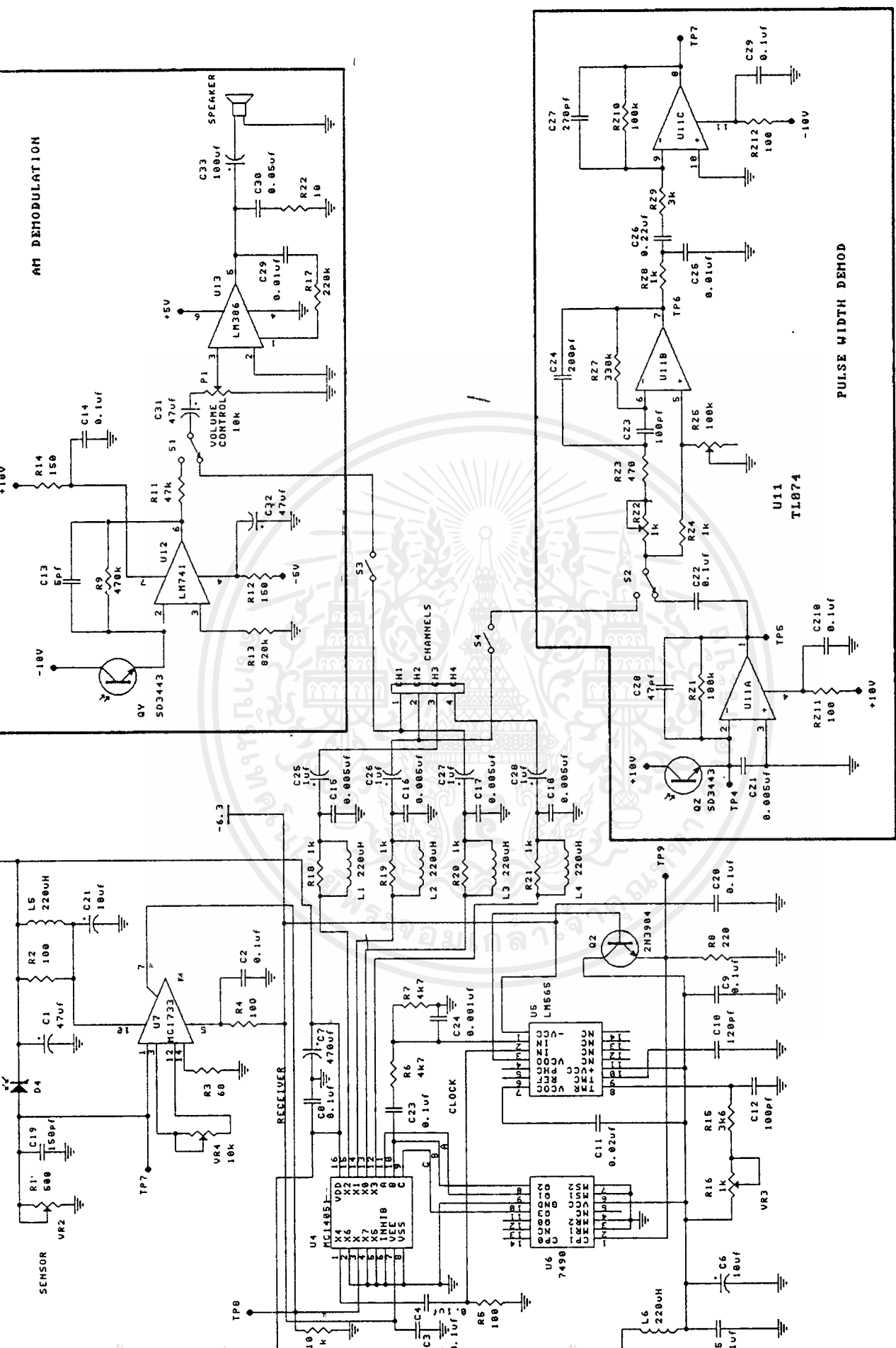


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



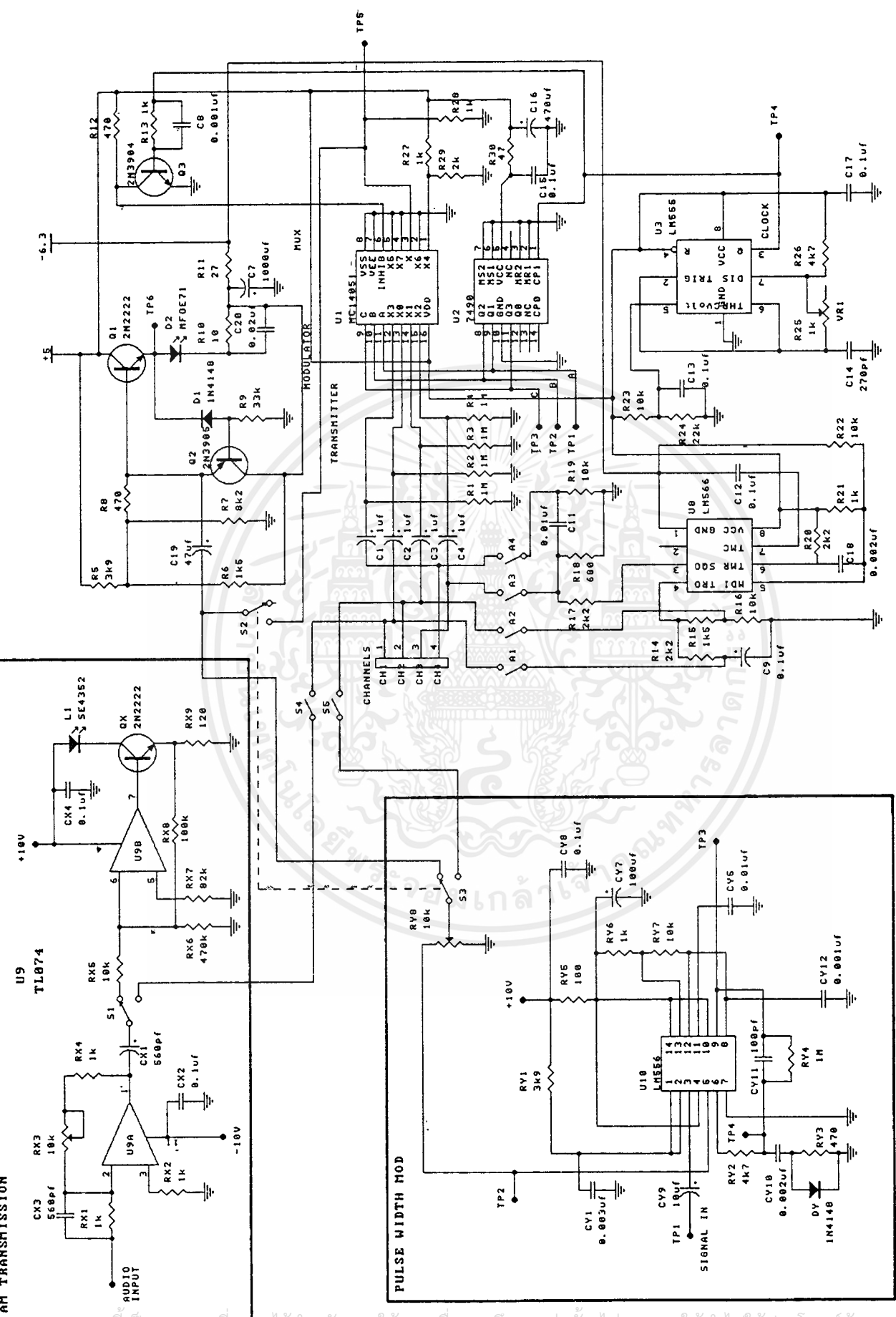
**รูปแสดงตัวอย่าง
การต่อวงจรชุดทดลอง**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AM TRANSMISSION



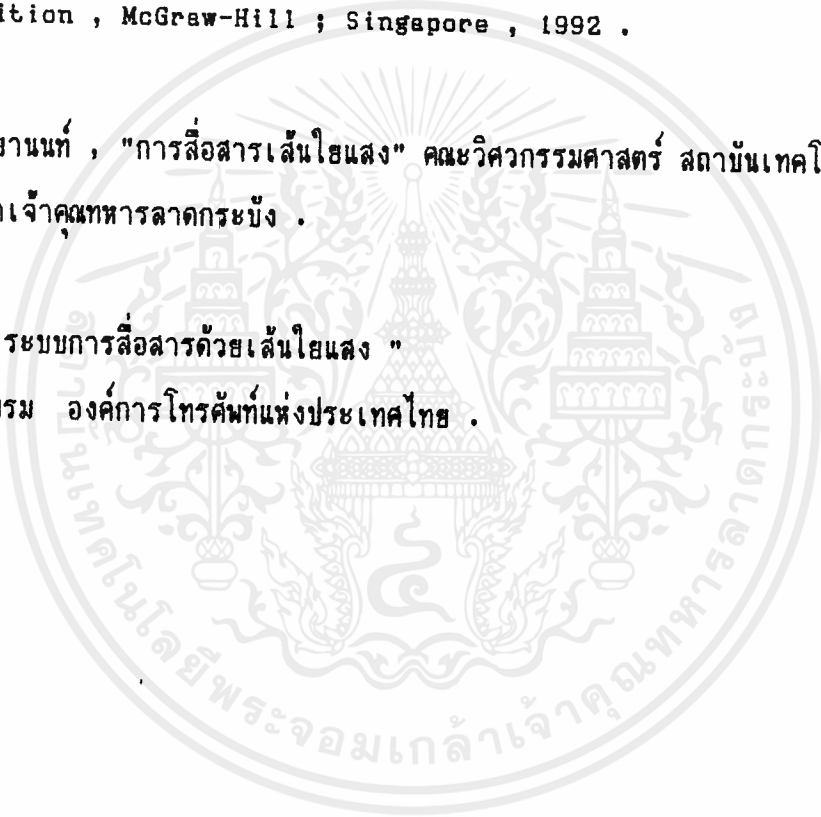
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิติกรรมประกาศ

- ขอขอบคุณ อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.อนันต์ ชัยเลิศวิมล ที่ช่วยให้คำแนะนำต่างๆ ทำให้โครงการนี้สำเร็จได้ตามวัตถุประสงค์
- ขอขอบคุณ อาจารย์ประจำภาคเทคนิคอุตสาหกรรมทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ทำให้สามารถนำความรู้มาประยุกต์ใช้ในโครงการนี้
- ขอขอบคุณ อาจารย์ประจำภาควิศวกรรมโทรคมนาคมทุกท่าน ที่ให้คำปรึกษา และให้คำแนะนำในด้านต่างๆ
- ขอขอบคุณ อาจารย์ ผศ.สุชิน จำจด ที่อนุเคราะห์ให้ใช้ห้องทำงาน
- ขอขอบคุณ พี่ สุพล บุญจันทร์ นายช่างอิเล็กทรอนิกส์ ประจำภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ที่ให้ความร่วมมือ และอำนวยความสะดวกในทุกๆด้าน
- ขอขอบคุณ เพื่อนๆ ทุกคน และบุคคลอื่นๆ ที่มีส่วนช่วยเหลือในโครงการนี้

บรรณานุกรม

1. John M. Senior , "Optical Fibre Communications Principle and Pratics"
Prentice-Hall international series in Optoelectronics,
Series Editor : P.J. Dean.
2. Morris Tischler , "Optoelectronics : Fiber Optics and Lasers"
Second Edition , McGraw-Hill ; Singapore , 1992 .
3. อภินันท์ มัชฌานนท์ , "การสื่อสารเส้นใยแสง" คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง .
4. " คู่มือช่าง ระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง "
ศูนย์การฝึกอบรม องค์กรโทรศัพย์แห่งประเทศไทย .



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

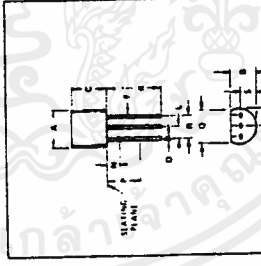
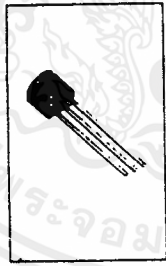
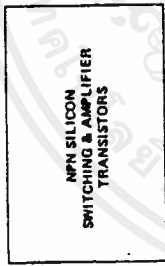
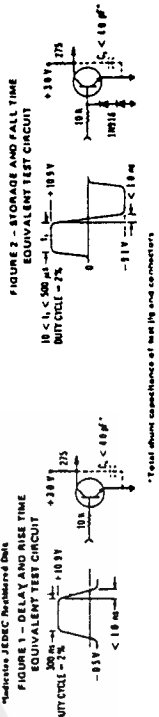
2N3903, 2N3904 (continued)

2N3903 (SILICON)
2N3904

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (1) - 25°C unless otherwise noted

Characteristics	Symbol	Max	Min	Unit
DC CHARACTERISTICS				
Collector-Base Breakdown Voltage V_{CB} - 10 μ A, $I_E = 0$	V_{CB0}	40	-	Vdc
Collector-Emitter Breakdown Voltage (1) $I_C = 1.0$ mA, $I_B = 0$	V_{CE0}	40	-	Vdc
Emitter-Base Breakdown Voltage $I_E = 10$ μ A, $V_{CB} = 0$	V_{EB0}	6.0	-	Vdc
Collector-Cutoff Current $V_{CE} = 10$ Vdc, $V_{EB}(off) = 0$ Vdc	I_{C0}	-	-10	μ A
Base-Cutoff Current $V_{CE} = 10$ Vdc, $V_{EB}(off) = 1.0$ Vdc	I_{B0}	-	-10	μ A
ON CHARACTERISTICS				
DC Current Gain (1) $I_C = 1.0$ mA, $V_{CE} = 1.0$ Vdc	β_{DC}	10	-	-
$I_C = 1.0$ mA, $V_{CE} = 1.0$ Vdc	β_{DC}	15	-	-
$I_C = 1.0$ mA, $V_{CE} = 1.0$ Vdc	β_{DC}	20	-	-
$I_C = 10$ mA, $V_{CE} = 1.0$ Vdc	β_{DC}	100	10	-
$I_C = 10$ mA, $V_{CE} = 1.0$ Vdc	β_{DC}	30	-	-
$I_C = 10$ mA, $V_{CE} = 1.0$ Vdc	β_{DC}	45	-	-
$I_C = 10$ mA, $V_{CE} = 1.0$ Vdc	β_{DC}	10	-	-
Collector-Emitter Saturation Voltage (1) $I_C = 10$ mA, $I_B = 1.0$ mA	$V_{CE(sat)}$	-	0.3	Vdc
$I_C = 10$ mA, $I_B = 1.0$ mA	$V_{CE(sat)}$	-	0.3	Vdc
Base-Emitter Saturation Voltage (1) $I_C = 10$ mA, $I_B = 1.0$ mA	$V_{BE(sat)}$	0.65	0.90	Vdc
$I_C = 10$ mA, $I_B = 1.0$ mA	$V_{BE(sat)}$	0.65	0.90	Vdc
SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS				
Current Gain-Bandwidth Product (1) $I_C = 10$ mA, $V_{CE} = 10$ Vdc, $f = 100$ MHz	f_T	150	-	MHz
$I_C = 10$ mA, $V_{CE} = 10$ Vdc, $f = 100$ MHz	f_T	150	-	MHz
Output Capacitance (1) $V_{CE} = 1.0$ Vdc, $I_C = 0$, $f = 100$ kHz	C_{ob}	-	1.0	pF
$V_{CE} = 1.0$ Vdc, $I_C = 0$, $f = 100$ kHz	C_{ob}	-	1.0	pF
Input Capacitance (1) $V_{BE} = 0.5$ Vdc, $I_C = 0$, $f = 100$ kHz	C_{ib}	-	6.0	pF
$V_{BE} = 0.5$ Vdc, $I_C = 0$, $f = 100$ kHz	C_{ib}	-	6.0	pF
Input Impedance (1) $I_C = 1.0$ mA, $V_{CE} = 10$ Vdc, $f = 1.0$ MHz	Z_{in}	6.0	10	Ω
$I_C = 1.0$ mA, $V_{CE} = 10$ Vdc, $f = 1.0$ MHz	Z_{in}	6.0	10	Ω
Voltage Feedback Ratio (1) $I_C = 1.0$ mA, $V_{CE} = 10$ Vdc, $f = 1.0$ MHz	R_{fb}	0.1	0.2	$\times 10^{-4}$
$I_C = 1.0$ mA, $V_{CE} = 10$ Vdc, $f = 1.0$ MHz	R_{fb}	0.1	0.2	$\times 10^{-4}$
Small-Signal Current Gain (1) $I_C = 1.0$ mA, $V_{CE} = 10$ Vdc, $f = 1.0$ MHz	β_{ac}	100	100	-
$I_C = 1.0$ mA, $V_{CE} = 10$ Vdc, $f = 1.0$ MHz	β_{ac}	100	100	-
Output Admittance (1) $I_C = 1.0$ mA, $V_{CE} = 10$ Vdc, $f = 1.0$ MHz	Y_{out}	1.0	40	μ hos
$I_C = 1.0$ mA, $V_{CE} = 10$ Vdc, $f = 1.0$ MHz	Y_{out}	1.0	40	μ hos
Noise Figure (1) $I_C = 1.0$ mA, $V_{CE} = 1.0$ Vdc, $f = 1.0$ MHz	F_{noise}	5.0	8.0	dB
$I_C = 1.0$ mA, $V_{CE} = 1.0$ Vdc, $f = 1.0$ MHz	F_{noise}	5.0	8.0	dB
SWITCHING CHARACTERISTICS				
Rise Time (1) $V_{CE} = 10$ Vdc, $V_{CE(sat)} = 0.5$ Vdc, $I_C = 10$ mA, $I_B = 1.0$ mA	t_r	-	35	ns
$V_{CE} = 10$ Vdc, $V_{CE(sat)} = 0.5$ Vdc, $I_C = 10$ mA, $I_B = 1.0$ mA	t_r	-	35	ns
Storage Time (1) $V_{CE} = 10$ Vdc, $I_C = 10$ mA, $I_B = 1.0$ mA	t_s	-	150	ns
$V_{CE} = 10$ Vdc, $I_C = 10$ mA, $I_B = 1.0$ mA	t_s	-	150	ns
Fall Time (1) $I_B = I_C = 1.0$ mA	t_f	-	50	ns
$I_B = I_C = 1.0$ mA	t_f	-	50	ns

(1) Pulse Test: Pulse Width = 50 ns, Duty Cycle = 1:10
Transition Edge Crossover Point at 50% Voltage



Rating	Symbol	Value	Unit
Collector Base Voltage	V_{CB}	60	Vdc
Collector-Emitter Voltage	V_{CE}	40	Vdc
Emitter-Base Voltage	V_{EB}	6.0	Vdc
Collector Current - Continuous	I_C	200	mA
Peak Power Dissipation @ $T_c = 25^\circ\text{C}$	P_D	360	mW
Power Dissipation @ $T_c = 25^\circ\text{C}$	P_D	7.0	mW/PC
Storage Temperature Range	T_s	-55 to +150	$^\circ\text{C}$

NPN SILICON ANNULAR TRANSISTORS

- Designed for general purpose switching and amplifier applications and for complementary symmetry with types 2N3905 and 2N3906
- Collector-Emitter Breakdown Voltage - $V_{CE0} = 40$ Vdc (Min)
- Current Gain Specified from 100 μ A to 100 mA
- Complete Switching and Amplifier Specifications
- Low Capacitance - $C_{ob} = 4.0$ pF (Max)

MAXIMUM RATINGS

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	30	$^\circ\text{C/W}$
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	125	$^\circ\text{C/W}$

*Indicates JEDEC Registered Data



MOTOROLA
Semiconductors
3501 ZEPHYRUS AVENUE, PHOENIX, ARIZONA 85036

2N3905
2N3906

PNP SILICON ANNULAR* TRANSISTORS

... designed for general purpose switching and amplifier applications and for complementary circuitry with types 2N3903 and 2N3904.

- High Voltage Ratings — $V_{CE0} = 40$ Volts (Min)
- Current Gain Specified from 100 μ A to 100 mA
- Complete Switching and Amplifier Specifications
- Low Capacitance — $C_{ob} = 4.5$ pF (Max)

PNP SILICON
SWITCHING & AMPLIFIER
TRANSISTORS

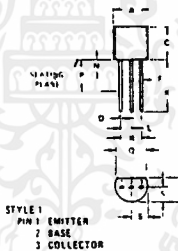


***MAXIMUM RATINGS**

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector-Base Voltage	V_{CB}	40	Vdc
Collector-Emitter Voltage	V_{CE0}	40	Vdc
Emitter-Base Voltage	V_{EB}	5.0	Vdc
Collector Current	I_C	200	mAdc
Total Power Dissipation @ $T_A = 60^\circ\text{C}$	P_D	250	mW
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	350	mW
		2.8	mW/ $^\circ\text{C}$
Total Power Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	1.0	Watt
		8.0	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	$^\circ\text{C}/\text{W}$
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	125	$^\circ\text{C}/\text{W}$



DIM	MILLIMETERS				INCHES			
	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
A	7.14	7.36	0.281	0.290				
B	7.14	7.36	0.281	0.290				
C	1.27	1.27	0.110	0.110				
D	4.40	4.57	0.173	0.180				
E	4.40	4.57	0.173	0.180				
F	1.27	1.27	0.110	0.110				
G	1.27	1.27	0.110	0.110				
H	1.27	1.27	0.110	0.110				
I	1.27	1.27	0.110	0.110				
J	1.27	1.27	0.110	0.110				
K	1.27	1.27	0.110	0.110				
L	1.27	1.27	0.110	0.110				
M	1.27	1.27	0.110	0.110				
N	1.27	1.27	0.110	0.110				
O	1.27	1.27	0.110	0.110				
P	1.27	1.27	0.110	0.110				
Q	1.27	1.27	0.110	0.110				
R	1.27	1.27	0.110	0.110				
S	1.27	1.27	0.110	0.110				

CASE 29 02
170 921

*Indicates JEDEC Registered Data.
Annular semiconductors patented by Motorola Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TRANSIENT CHARACTERISTICS
 $T_J = 25^\circ\text{C} \rightarrow T_J = 125^\circ\text{C}$

FIGURE 3 - CAPACITANCE

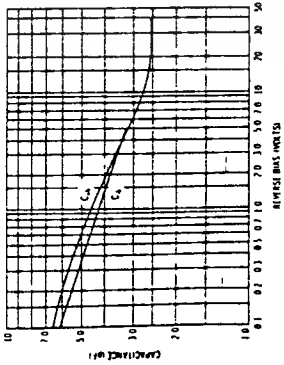


FIGURE 4 - CHARGE DATA

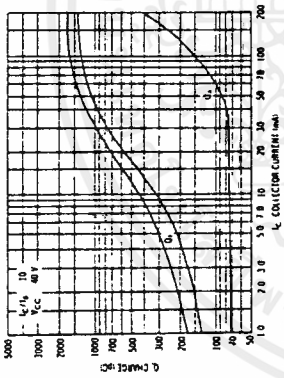


FIGURE 5 - TURN ON TIME

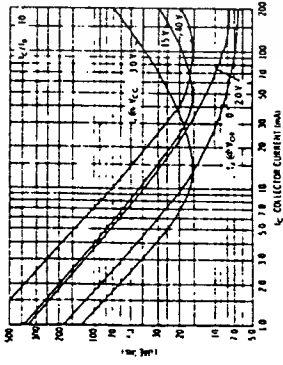


FIGURE 6 - RISE TIME

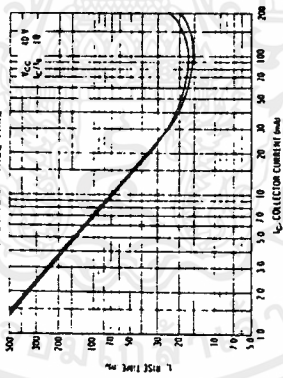


FIGURE 7 - STORAGE TIME

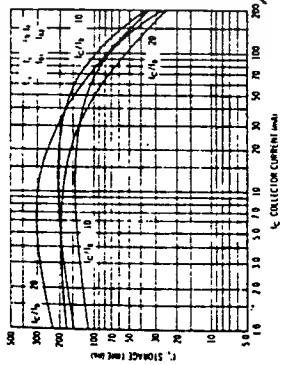
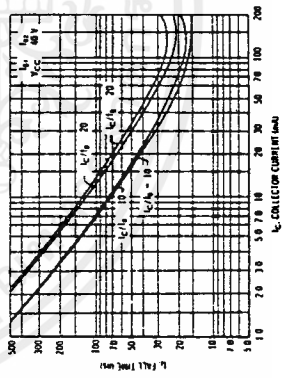


FIGURE 8 - FALL TIME



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

Characteristic	Fig. No.	Symbol	Min	Max	Unit
OFF CHARACTERISTICS					
Collector Base Breakdown Voltage $I_C = 10 \text{ mA}, I_E = 0$		V_{CB0}	40	-	Vdc
Collector-Emitter Breakdown Voltage (1) $I_C = 1.0 \text{ mA}, I_E = 0$		V_{CE0}	40	-	Vdc
Emitter Base Breakdown Voltage $I_E = 10 \text{ mA}, I_C = 0$		V_{EB0}	5.0	-	Vdc
Collector Current $V_{CE} = 30 \text{ Vdc}, V_{BE}(\text{off}) = 3.0 \text{ Vdc}$		I_{CX}	-	50	mAdc
Base Quiescent Current $V_{CE} = 30 \text{ Vdc}, V_{BE}(\text{off}) = 3.0 \text{ Vdc}$		I_{BQ}	-	50	mAdc
ON CHARACTERISTICS (1)					
DC Current Gain					
$I_C = 0.1 \text{ mA}, V_{CE} = 1.0 \text{ Vdc}$		h_{FE}	15	-	-
$I_C = 1.0 \text{ mA}, V_{CE} = 1.0 \text{ Vdc}$		h_{FE}	20	-	-
$I_C = 10 \text{ mA}, V_{CE} = 1.0 \text{ Vdc}$		h_{FE}	40	-	-
$I_C = 10 \text{ mA}, V_{CE} = 1.0 \text{ Vdc}$		h_{FE}	40	-	-
$I_C = 10 \text{ mA}, V_{CE} = 1.0 \text{ Vdc}$		h_{FE}	100	-	-
$I_C = 50 \text{ mA}, V_{CE} = 1.0 \text{ Vdc}$		h_{FE}	30	-	-
$I_C = 100 \text{ mA}, V_{CE} = 1.0 \text{ Vdc}$		h_{FE}	15	-	-
Collector-Emitter Saturation Voltage $I_C = 10 \text{ mA}, I_E = 1.0 \text{ mA}$		$V_{BE(\text{sat})}$	16, 17	-	Vdc
Base-Emitter Saturation Voltage $I_C = 50 \text{ mA}, I_E = 5.0 \text{ mA}$		$V_{BE(\text{sat})}$	17	-	Vdc
$I_C = 50 \text{ mA}, I_E = 5.0 \text{ mA}$		$V_{BE(\text{sat})}$	0.85	-	0.85
SMALL SIGNAL CHARACTERISTICS					
Common-Emitter - Resonance Products					
$I_C = 15 \text{ mA}, V_{CE} = 20 \text{ Vdc}, f = 100 \text{ MHz}$		f_T	200	-	MHz
$I_C = 15 \text{ mA}, V_{CE} = 20 \text{ Vdc}, f = 100 \text{ MHz}$		f_{max}	260	-	MHz
Common-Emitter					
Output Capacitance $V_{CE} = 5.0 \text{ Vdc}, I_C = 0.1 \text{ mA}, 100 \text{ kHz}$	3	C_{ob}	-	4.5	pF
Input Capacitance $V_{BE} = 0.5 \text{ Vdc}, I_C = 0.1 \text{ mA}, 100 \text{ kHz}$	3	C_{ib}	-	1.0	pF
Input Impedance $I_C = 1.0 \text{ mA}, V_{CE} = 10 \text{ Vdc}, f = 1.0 \text{ MHz}$	13	Z_{in}	0.5	9.0	k ohms
Voltage Feedback Ratio $I_C = 1.0 \text{ mA}, V_{CE} = 10 \text{ Vdc}, f = 1.0 \text{ MHz}$	14	h_{re}	0.1	0.0	$\times 10^{-4}$
Small Signal Current Gain $I_C = 1.0 \text{ mA}, V_{CE} = 10 \text{ Vdc}, f = 1.0 \text{ MHz}$	11	h_{fe}	50	200	ambn
Output Admittance $I_C = 1.0 \text{ mA}, V_{CE} = 10 \text{ Vdc}, f = 1.0 \text{ MHz}$	12	h_{oe}	1.0	40	ambn
Noise Figure $I_C = 1.0 \text{ mA}, V_{CE} = 9.0 \text{ Vdc}, R_S = 1.0 \text{ ohm}, 2N3905$ $(f = 10 \text{ MHz to } 15 \text{ MHz})$	9, 10	NF	-	4.0	dB
SWITCHING CHARACTERISTICS					
Delay Time $V_{CE} = 3.0 \text{ Vdc}, V_{BE}(\text{on}) = 0.5 \text{ Vdc}$	3, 5	t_d	-	25	ns
Rise Time $I_C = 10 \text{ mA}, I_E = 1.0 \text{ mA}$	1, 8, 9	t_r	-	20	ns
Storage Time $V_{CE} = 3.0 \text{ Vdc}, I_C = 10 \text{ mA}, 2N3905$ $(I_E = 10 \text{ mA to } 1.0 \text{ mA})$	2, 7	t_s	-	250	ns
Fall Time $I_C = 10 \text{ mA}, I_E = 1.0 \text{ mA}$	2, 8	t_f	-	60	ns

Inductance: ΔI_{CE} Regional Data, 10 Pulse Width = 200 μ s, Duty Cycle = 2.0%

FIGURE 1 - DELAY AND RISE TIME EQUIVALENT TEST CIRCUIT

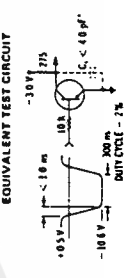
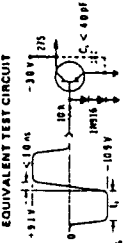


FIGURE 2 - STORAGE AND FALL TIME EQUIVALENT TEST CIRCUIT



*10 pF shunt capacitance of test pg and connectors

MC14051B thru MC14053B

MC14051B thru MC14053B

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	V _{DD} V _{EE}		25°C		T _{TEMP}		T _{TEMP}		Unit
		Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	
Output Voltage ¹ V _{OL} = V _{DD} or V _{SS} V _{SS} = V _{EE}	V _{OL}	0	0.05	0	0.05	0	0.05	0	0.05	V _{EE}
	V _{OH}	4.95	5.0	4.95	5.0	4.95	5.0	4.95	5.0	V _{DD}
	V _{IL}	10	14.95	10	14.95	10	14.95	10	14.95	V _{DD}
	V _{IH}	15	15	15	15	15	15	15	15	V _{DD}
Input Voltage ¹ I _{OL} = 0.5 mA I _{OH} = 1.0 mA I _{VO} = 1.5 mA	V _{IL}	5.0	2.25	5.0	2.25	5.0	2.25	5.0	2.25	V _{DD}
	V _{IH}	10	3.0	10	3.0	10	3.0	10	3.0	V _{DD}
	V _{OH}	5.0	3.5	5.0	3.5	5.0	3.5	5.0	3.5	V _{DD}
	V _{OL}	10	7.0	10	7.0	10	7.0	10	7.0	V _{DD}
Input Current (Control/Inhibit)	I _{IN}	15	11.25	15	11.0	15	11.0	15	11.0	μA
Input Capacitance	C _{IN}	-	-	-	-	-	-	-	-	pf
V _{IN} @ Control/Inhibit	-	-	-	-	5.0	-	-	-	-	pf
Output Capacitance	C _{OUT}	10	-	10	-	10	-	10	-	pf
Enable/Inhibit	-	-	-	60	-	37	-	-	-	pf
Enable/Inhibit	-	-	-	17	-	-	-	-	-	pf
Enable/Inhibit	-	-	-	0.18	-	0.17	-	-	-	pf
Enable/Inhibit	-	-	-	0.10	-	0.10	-	-	-	pf
Quiescent Current (AL Device) (I _{CC} Package)	I _{QD}	5.0	5.0	0.005	5.0	-	-	-	-	μA
	I _{QD}	15	10	0.010	10	-	-	-	-	μA
	I _{QD}	50	70	0.012	70	-	-	-	-	μA
	I _{QD}	50	70	0.015	40	-	-	-	-	μA
	I _{QD}	15	80	0.015	80	-	-	-	-	μA
Total Supply Current** (I _{CC} Package) (Dynamic plus Quiescent)	I _T	5.0	10	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	μA
ON Resistance (AL Device) Per Package	R _{ON}	15	880	15	250	15	250	15	250	Ω
	R _{ON}	15	400	15	100	15	500	15	500	Ω
	R _{ON}	15	720	15	80	15	280	15	370	Ω
ON Resistance (EL/CP Device)	R _{ON}	5.0	880	5.0	250	5.0	1000	5.0	1700	Ω
	R _{ON}	15	450	15	120	15	500	15	570	Ω
	R _{ON}	15	750	15	25	15	280	15	320	Ω
3 ON Resistance Between Any Two Channels	R _{ON}	15	-	15	-	15	-	15	-	Ω
OFF Channel Leakage Current Any Channel At Channel OFF	I _{OFF}	15	100	15	100	15	100	15	1000	nA
	I _{OFF}	15	100	15	100	15	100	15	1000	nA
	I _{OFF}	15	100	15	100	15	100	15	1000	nA
	I _{OFF}	15	100	15	100	15	100	15	1000	nA
OFF Channel Leakage Current Any Channel At Channel OFF	I _{OFF}	15	1000	15	1000	15	1000	15	3000	nA
	I _{OFF}	15	1000	15	1000	15	1000	15	3000	nA
	I _{OFF}	15	1000	15	1000	15	1000	15	3000	nA

¹ I_{OL} = 0.5 mA for AL Device, -0.6 mA for EL/CP Device
² I_{OH} = 1.0 mA for AL Device, 0.8 mA for EL/CP Device
³ I_{VO} = 1.5 mA for AL Device, 1.0 mA for EL/CP Device
⁴ The formula given are for the typical characteristics only at 25°C
⁵ V_{SS} for total current through the device. The channel component, (V_{OL} - V_{OH})/R_{ON}, should not be included.

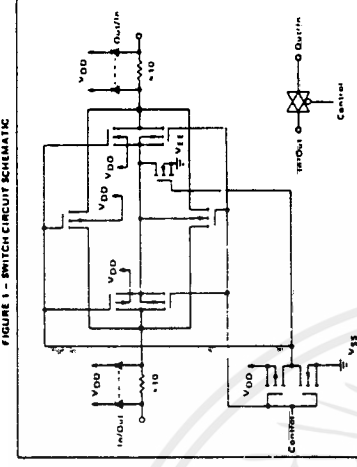
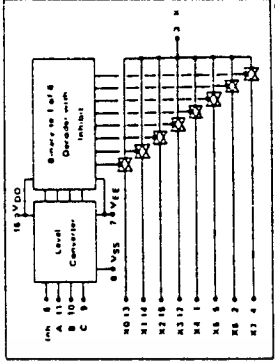


FIGURE 2 - MC14051B FUNCTIONAL DIAGRAM



TRUTH TABLE

Control Input	0	1	2	3	4	5	6	7	None	None
Inhibit C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Inhibit B	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
Inhibit A	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0
ON Number	0	1	2	3	4	5	6	7	None	None
MC14051B	0	1	2	3	4	5	6	7	None	None
MC14052B	0	1	2	3	4	5	6	7	None	None
MC14053B	0	1	2	3	4	5	6	7	None	None

*Not applicable for MC14052

0 = Don't Care

FIGURE 3 - MC14052B FUNCTIONAL DIAGRAM

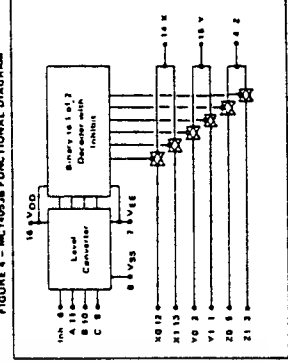
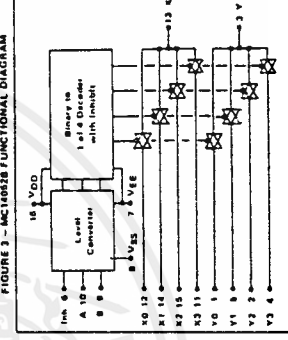


FIGURE 4 - MC14053B FUNCTIONAL DIAGRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Industrial Blocks

LM555/LM555C Timer

General Description

The LM555 is a highly stable device for generating accurate time delays or oscillation. Additional terminals are provided for triggering or resetting if desired. In the time delay mode of operation, the time is precisely controlled by one external resistor and capacitor. For stable operation as an oscillator, the free running frequency and duty cycle are accurately controlled with two external resistors and one capacitor. The circuit may be triggered and reset on falling waveforms, and the output circuit can source or sink up to 200 mA or drive TTL circuits.

Features

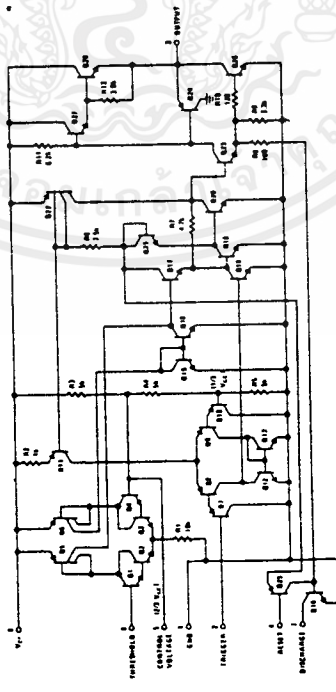
- Direct replacement for SE555/NE555
- Timing from microseconds through hours
- Operates in both stable and monostable modes

- 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

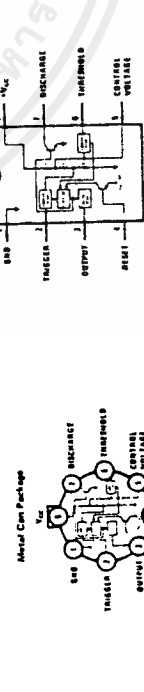
Applications

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

Schematic Diagram



Connection Diagrams



Order Number: LM555/LM555C
See NS Package M084
Order Number: LM555/LM555C
See NS Package M064

LM555/LM555C

LM555/LM555C

Absolute Maximum Ratings

Supply Voltage: +18V
Power Dissipation (Note 1): 600 mW
Operating Temperature Range: 0°C to +170°C
LM555C: -55°C to +125°C
LM555: -65°C to +150°C
Storage Temperature Range: -65°C to +300°C
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds): 300°C

Electrical Characteristics (TA = 25°C, VCC = +5V to +15V, unless otherwise specified)

PARAMETER	CONDITIONS	LIMITS			UNITS
		MIN	TYP	MAX	
Supply Voltage	VCC = 5V, RA = ∞	4.5	5	18	V
Supply Current	VCC = 15V, RA = ∞ (Low State) (Note 2)	3	3	6	mA
Timing Error, Monostable	RA = RA = 1k to 100k, C = 0.1 μF (Note 3)	0.5	0.5	1	ppm/°C
Drift with Temperature		1.5	1.5	2.75	ppm/°C
Accuracy over Temperature		30	30	140	%
Drift with Supply		1.5	1.5	140	ppm/°C
Timing Error, Astable		2.5	2.5	3.0	ppm/°C
Initial Accuracy		0.15	0.15	0.30	%
Accuracy over Temperature		0.047	0.047	0.047	%
Drift with Supply		4.8	4.8	5	%
Threshold Voltage	VCC = 15V	1.40	1.87	1.87	V
Trigger Voltage	VCC = 5V	0.4	0.5	0.5	V
Reset Current	(Note 4)	0.01	0.01	0.01	mA
Reset Voltage	(Note 4)	0.1	0.1	0.4	V
Reset Current	(Note 4)	0.1	0.1	0.1	mA
Threshold Current	(Note 4)	10	10.4	11	μA
Control Voltage Level	VCC = 15V	7.8	3.32	3.8	V
Control Voltage Level	VCC = 5V	1	1	100	mV
Pin 7 Leakage Output High	VCC = 15V, I1 = 18 mA	140	140	180	μA
Pin 7 Leakage Output Low	VCC = 5V, I1 = 4.8 mA	70	70	80	μA
Output Low	VCC = 15V	0.1	0.1	0.15	V
Output Voltage Drop (Low)	Iload = 100 mA	0.4	0.4	0.5	V
Output Voltage Drop (High)	Iload = 200 mA	2	2	2.2	V
Output Voltage Drop (High)	VCC = 5V	0.1	0.1	0.25	V
Output Voltage Drop (High)	Iload = 8 mA	12.5	12.5	13.5	mV
Output Voltage Drop (High)	Iload = 100 mA	3	3.3	3.3	mV
Rise Time of Output	VCC = 15V	100	100	100	ns
Fall Time of Output	VCC = 15V	100	100	100	ns

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 +45°C/W junction to case for TO-8 and +180°C/W junction to ambient for both packages.
 Note 2: Supply current when output high typically 1 mA less at VCC = 5V.
 Note 3: Tested at VCC = 5V and VCC = 15V.
 Note 4: This will determine the maximum value of RA + Rg for 15V operation. The maximum load (RA + Rg) is 20 kΩ.
 Note 5: No protection against excessive pin 7 current is necessary providing the package dissipation rating will not be exceeded.



National Semiconductor

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.

Features

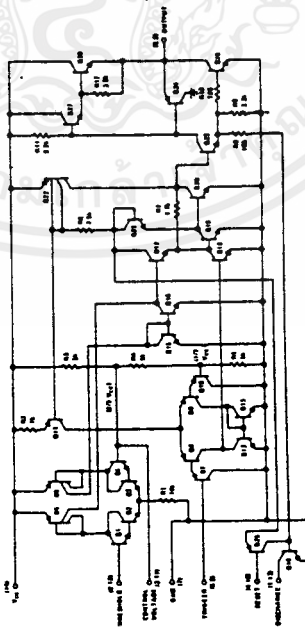
- Direct replacement for SE556/NE556
- Timing from microseconds through hours
- Operates in both astable and monostable modes
- Replaces two 555 timers

- 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

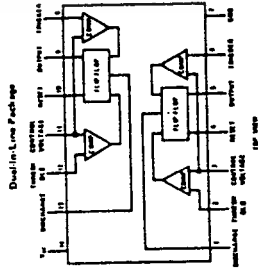
Applications

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

Schematic Diagram



Connection Diagram



Order Number LM556C
 Pin 16 Package J15A
 Order Number LM556 or LM556CJ
 Pin 16 Package J15A

LM556/LM556C

Absolute Maximum Ratings

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

Electrical Characteristics (T_A = 25°C, V_{CC} = +5V to +15V, unless otherwise specified)

PARAMETER	CONDITIONS	LM556	LM556C	UNITS
Supply Voltage	V _{CC} = 15V, I _{CC} = 100 μA, I _{OUT} = 100 mA (Note 2)	15	15	V
Supply Current	V _{CC} = 15V, I _{OUT} = 100 mA (Note 2)	5	5	mA
Input Error	V _{CC} = 15V, I _{OUT} = 100 mA (Note 2)	0.5	0.5	μV
Output Error	V _{CC} = 15V, I _{OUT} = 100 mA (Note 2)	0.5	0.5	μV
Accuracy Over Temperature	V _{CC} = 15V, I _{OUT} = 100 mA (Note 2)	15	15	ppm/°C
Drift with Supply	V _{CC} = 15V, I _{OUT} = 100 mA (Note 2)	0.05	0.05	ppm/V
Input Accuracy	V _{CC} = 15V, I _{OUT} = 100 mA (Note 2)	15	15	ppm/°C
Output Accuracy	V _{CC} = 15V, I _{OUT} = 100 mA (Note 2)	15	15	ppm/°C
Drift with Temperature	V _{CC} = 15V, I _{OUT} = 100 mA (Note 2)	0.15	0.15	ppm/°C
Accuracy Over Temperature	V _{CC} = 15V, I _{OUT} = 100 mA (Note 2)	15	15	ppm/°C
Drift with Supply	V _{CC} = 15V, I _{OUT} = 100 mA (Note 2)	0.15	0.15	ppm/V
Trigger Voltage	V _{CC} = 15V, I _{OUT} = 100 mA (Note 2)	1.6	1.6	V
Trigger Current	V _{CC} = 15V, I _{OUT} = 100 mA (Note 2)	0.1	0.1	mA
Reset Voltage	V _{CC} = 15V, I _{OUT} = 100 mA (Note 2)	0.1	0.1	V
Reset Current	V _{CC} = 15V, I _{OUT} = 100 mA (Note 2)	0.1	0.1	mA
Control Voltage Level (Low)	V _{CC} = 15V, I _{OUT} = 100 mA (Note 2)	0.03	0.03	V
Control Voltage Level (High)	V _{CC} = 15V, I _{OUT} = 100 mA (Note 2)	10	10	V
Temperature Voltage	V _{CC} = 15V, I _{OUT} = 100 mA (Note 2)	3.8	3.8	V
Pin 1, 12, Output Drive (High)	V _{CC} = 15V, I _{OUT} = 100 mA (Note 2)	1	1	100
Pin 1, 12, Output Drive (Low)	V _{CC} = 15V, I _{OUT} = 100 mA (Note 2)	150	150	mA
Output Line	V _{CC} = 15V, I _{OUT} = 100 mA (Note 2)	10	10	100
Output Voltage Drop (High)	V _{CC} = 15V, I _{OUT} = 100 mA (Note 2)	0.1	0.1	0.15
Output Voltage Drop (Low)	V _{CC} = 15V, I _{OUT} = 100 mA (Note 2)	0.1	0.1	0.15
Full Time of Output	V _{CC} = 15V, I _{OUT} = 100 mA (Note 2)	15	15	μs
Settling Characteristic	V _{CC} = 15V, I _{OUT} = 100 mA (Note 2)	13	13	μs
Initial Timing Accuracy	V _{CC} = 15V, I _{OUT} = 100 mA (Note 2)	3	3	ppm
Timing Error	V _{CC} = 15V, I _{OUT} = 100 mA (Note 2)	100	100	ppm
Drift with Supply Voltage	V _{CC} = 15V, I _{OUT} = 100 mA (Note 2)	0.05	0.05	ppm/V
Drift with Temperature	V _{CC} = 15V, I _{OUT} = 100 mA (Note 2)	0.1	0.1	ppm/°C

Note 1: For operating at elevated temperatures the device must be derated based on a +100°C maximum junction temperature and a thermal resistance of +1M°C/W junction to ambient for both packages.
 Note 2: Supply current when output high typically 1 mA, low at V_{CC} = 5V.
 Note 3: Tested at V_{CC} = 5V and V_{CC} = 15V.
 Note 4: At reset voltage level, timing is inhibited and then the output goes low.
 Note 5: This will determine the maximum value of R_A + R_B for 15V operation. The maximum load (R_A + R_B) is 20 MΩ.
 Note 6: No protection against excessive pin 1, 12 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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Industrial Blocks

National Semiconductor

LM565/LM565C Phase Locked Loop

General Description

The LM565 and LM565C are general purpose phase locked loops containing a stable, highly linear voltage controlled oscillator for low distortion FM demodulation, and a double balanced phase detector with good carrier suppression. The VCO frequency is set with an external resistor and capacitor, and a tuning range of 10:1 can be obtained with the same capacitor. The characteristics of the closed loop system—bandwidth, response speed, capture and pull in range—may be adjusted over a wide range with an external resistor and capacitor. The loop may be broken between the VCO and the phase detector for insertion of a digital frequency divider to obtain frequency multiplication.

The LM565H is specified for operation over the -55°C to +125°C military temperature range. The LM565CH and LM565CN are specified for operation over the 0°C to +70°C temperature range.

Features

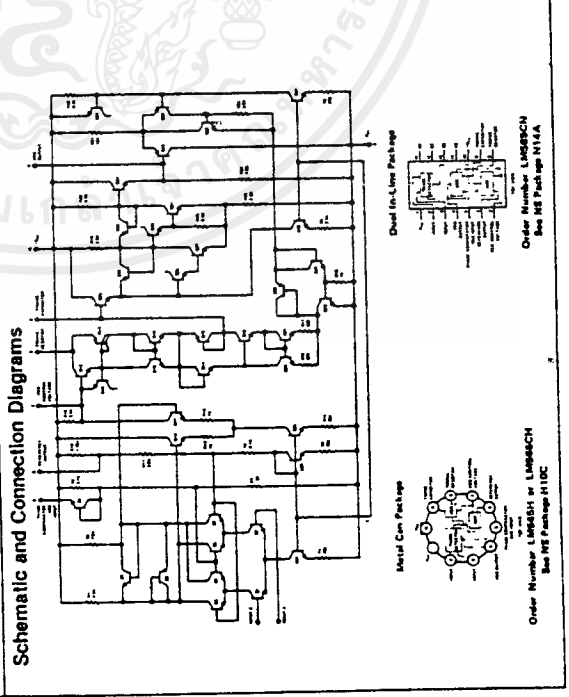
- 200 ppm/°C frequency stability of the VCO

Applications

- Data and tone synchronization
- Modems
- FSK demodulation
- FM demodulation
- Frequency synthesizer
- Tone decoding
- Frequency multiplication and division
- SCA demodulators
- Telemetry receivers
- Signal regeneration
- Coherent demodulators

Industrial Blocks

- Power supply range of 15 to ±12 volts with 100 ppm/% typical
- 0.2% linearity of demodulated output
- Linear triangle wave with in phase zero crossing available
- DTL and DTL compatible phase detector input and square wave output
- Adjustable hold in range from 11% to > 160%



Absolute Maximum Ratings

- Supply Voltage: 12V
- Power Dissipation (Noise 1): 300 mW
- Differential Input Voltage: 1.5V
- Operating Temperature Range: LM565H: -55°C to +125°C, LM565CH, LM565CN: 0°C to 70°C
- Storage Temperature Range: -65°C to +150°C
- Lead Temperature (Soldering, 10 sec): 300°C

Electrical Characteristics (AC Test Circuit, T_a = 25°C, V_c = 16V)

PARAMETER	CONDITIONS	LM565			LM565C			LIMITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Power Supply Current	-4V < V ₁ , V ₂ < 0V	8.0	12.5	12.5	8.0	8.0	12.5	mA
Input Impedance (Pins 2, 3)		7	10	5	5	5	5	kΩ
VCO Maximum Operating Frequency	C _o = 2.2 pF	300	500	500	250	500	500	kHz
Operating Frequency Temperature Coefficient		-100	300	300	-200	500	500	ppm/°C
Frequency Drift with Supply Voltage		0.01	0.1	0.1	0.05	0.05	0.2	%/V
Triangle Wave Output Voltage		2	2.4	3	2	2.4	3	V _{pp}
Square Wave Output Level		0.2	0.25	0.6	0.6	1	1	%
Triangle Wave Output Linearity		4.7	5.4	4.7	4.7	5.4	5.4	kΩ
Square Wave Output Level		5	5	5	5	5	5	kΩ
Output Impedance (Pin 4)		45	50	55	40	50	60	Ω
Square Wave Rise Time		20	100	200	20	50	50	ns
Square Wave Fall Time		50	200	200	50	50	50	ns
Output Current Sink (Pin 4)		0.6	1	1	0.8	1	1	mA
VCO Sensitivity	I _c = 10 nA	6400	8600	8600	6000	8600	8600	mV/V
Demodulated Output Voltage		250	300	350	200	300	400	mV _{pp}
Total Harmonic Distortion	±10% Frequency Deviation	0.2	0.75	0.75	0.2	0.2	1.6	%
Output Impedance (Pin 7)	±10% Frequency Deviation	35	35	35	35	35	35	Ω
DC Level (Pin 7)		4.25	4.5	4.75	4.0	4.5	5.0	V
Output Offset Voltage		30	100	100	50	50	200	mV
Temperature Drift of I _c , -V ₁		30	40	40	500	500	500	μV/°C
AM Rejection		0.6	0.8	0.8	0.55	0.8	0.95	dB
Phase Detector Sensitivity K _o		0.6	0.8	0.8	0.55	0.8	0.95	V/degree

Note 1: The maximum junction temperature of the LM565 is 150°C, while that of the LM565C and LM565CH is 175°C. The maximum junction temperature of the LM565C, LM565CH and LM565CN is 150°C. The maximum junction temperature of the LM565H is 125°C. Thermal resistance of the dual in line package is 100°C/W.



National Semiconductor

Industrial Blocks

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.

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

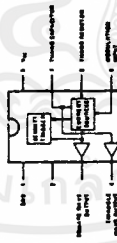
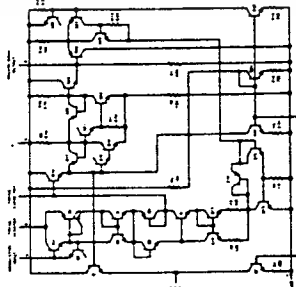
- Wide supply voltage range: 10 to 24 volts
- Very linear modulation characteristics

- 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.

Applications

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

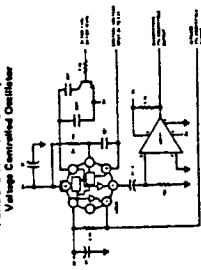
Schematic and Connection Diagrams



Order Number LM566CN
See NS Package M388

Typical Application

1 MHz and 10 kHz TTL-Compatible Voltage Controlled Oscillator



Applications Information

The LM566 may be operated from either a single supply as shown in the typical application circuit, or from a split 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 kΩ resistor from pin 3 to ground.¹

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

$$I_D = \frac{2(V_1 - V_2)}{R_1 C_1 V_1}$$

where
2k < R₁ < 20k
and V₁ is voltage between pins 5 and pin 1

Absolute Maximum Ratings

Power Supply Voltage 26V
Power Dissipation (Noise 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°C, AC Test Circuit

PARAMETER	CONDITIONS		LM566		LM566C		UNITS
	MIN	TYP	MIN	TYP	MAX	MAX	
Minimum Operating Frequency	R _D = 2k C _D = 27 pF		3/4 V _{CC}				MHz
Input Voltage Range Pin 5			3/4 V _{CC}	V _{CC}	3/4 V _{CC}	V _{CC}	
Average Temperature Coefficient of Operating Frequency	10 20V		0.1	1	0.1	2	ppm/°C
Supply Voltage Rejection			0.8	1	0.8	1	MΩ
Input Impedance Pin 5	For Pin 5, From 8-10V, I _O = 10 kHz		6.4	6.6	6.8	7.2	kΩ/V
VCO Sensitivity	±10% Deviation		800	1	500	1	%
FM Distortion							MHz
Maximum Sweep Rate							Ω
Sweep Range							Ω
Output Impedance Pin 3			50		50		Ω
Pin 4			50		50		Ω
Square Wave Output Level	R _{L1} = 10k		8.0	5.4	5.0	5.4	V _{pp}
Triangle Wave Output Level	R _{L2} = 10k		2.0	2.4	2.0	2.4	V _{pp}
Square Wave Duty Cycle			45	50	55	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	0.6	1	%

Note 1: The maximum junction temperature of the LM566 is 180°C, while that of the LM566C is 100°C. For operating at elevated junction temperatures, devices in the TO-8 package must be de-rated based on a thermal resistance of 180°C/W. The thermal resistance of the dual-in-line package is 100°C/W.

LM566/LM566C

LM566/LM566C

Decade Counter

DESCRIPTION

The '90 is a 4-bit, ripple-type Decade Counter. The device consists of four master-slave flip-flops internally connected to provide a divide-by-two section and a divide-by-five section. Each section has a separate Clock input to initiate state changes of the counter on the HIGH-to-LOW clock transition. State changes of the Q outputs do not occur simultaneously because of internal ripple delays. Therefore, decoded output signals are subject to decoding spikes and should not be used for clocks or strobes.

A gated AND asynchronous Master Reset (MR_1, MR_2) is provided which overrides both clocks and resets (clears) all the flip-flops. Also provided is a gated AND asynchronous Master Set (MS_1, MS_2) which overrides the clocks and the MR inputs, setting the outputs to nine (HLLH).

Since the output from the divide-by-two section is not internally connected to the succeeding stages, the device may be operated in various counting modes. In a BCD (8421) counter the CP_0 input must be externally connected to the Q_2 output. The CP_1 input receives the incoming count producing a BCD count sequence. In a symmetrical 81-quinary divide-by-ten counter the Q_2 output must be connected externally to the CP_1 input. The input count is then applied to the CP_0 input and a divide-by-ten square wave is obtained at

TYPE	TYPICAL f_{MAX}	TYPICAL SUPPLY CURRENT
7490	30MHz	30mA
74LS90	42MHz	9mA

ORDERING CODE

PACKAGES	COMMERCIAL RANGES $V_{CC} = 5V \pm 5\%$; $T_A = 0^\circ C$ to $+70^\circ C$	MILITARY RANGES $V_{CC} = 5V \pm 10\%$; $T_A = -65^\circ C$ to $+125^\circ C$
Plastic DIP	N7490N * N74LS90N	
Ceramic DIP		554LS90F
Flatpack		554LS90W

INPUT AND OUTPUT LOADING AND FAN-OUT TABLE

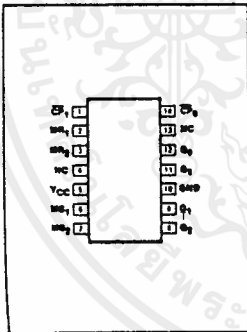
PIN#	DESCRIPTION	5474	5474LS
CP_0	Input	2uI	8LSuI
CP_1	Input	4uI	8LSuI
MR, MS	Inputs	1uI	1LSuI
Q_0-Q_3	Outputs	10uI	10LSuI

NOTE
Where a 5474 unit load (uI) is understood to be 45uA I_{OL} and -1.6mA I_{IH} and a 5474LS unit load (LSuI) is 25uA I_{OL} and -0.4mA I_{IH} .

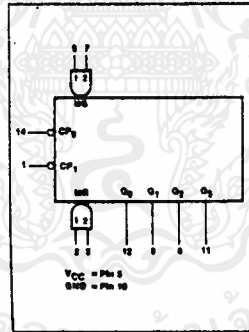
output Q_0 . To operate as a divide-by-two and a divide-by-five counter no external interconnections are required. The first flip-flop is used as a binary element for the

divide-by-two function (CP_0 as the input and Q_0 as the output). The CP_1 input is used to obtain a divide-by-five operation at the Q_2 output.

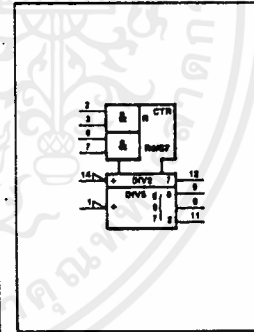
PIN CONFIGURATION



LOGIC SYMBOL



LOGIC SYMBOL (IEEE/IEC)



Signetics

SIECOR/OPTICAL CABLE

A SERVICE OF SIECOR

SIECOR® FAT FIBER™
CABLE (144)

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.

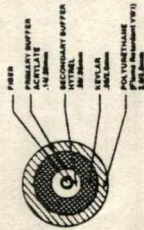
Fat Fiber Cables

- 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 VWI vertical flame test)

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

Product Number 144



144P (58) (P)
Printed in U.S.A.

SIECOR and FAT FIBER are registered trademarks of SIECOR Corporation.

For additional information contact:
SIECOR/OPTICAL CABLE
Four Eighty Ninth Factory, N.C. 28603
Telephone 704 322-3740
Telex 800646
Cable: SIECOR

*One Newton = 0.102 kg_f = 0.225 lb_f
Duplex version (244) also available.

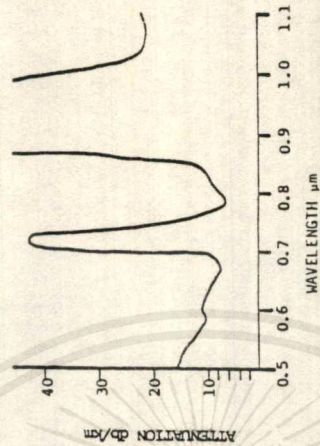
FIBER OPTICS

PLASTIC CLAD SILICA OPTICAL FIBER

3/10/81

Plastic Clad Silica Optical Fiber is designed for medium to long distance and medium bandwidth data transmission as well as high power optical transmission applications. This fiber type exhibits the lowest radiation sensitivity reported. The fiber consists of a high purity silica core, plastic optical cladding and a protective jacket. The optical waveguide is comprised of a silica core and plastic cladding while the outer jacket provides environmental and mechanical protection. At -55°C this fiber will exhibit good low loss behavior.

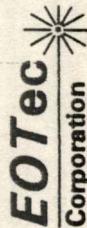
TYPICAL SPECTRAL ATTENUATION



FIBER TYPE

	EPC-BC200	EPC-BC400	EPC-BC600
ATTENUATION (790 nm)	6 db/km	6 db/km	6 db/km
NUMERICAL APERTURE	0.4	0.4	0.4
CORE INDEX OF REFRACTION	1.46	1.46	1.46
FIBER CORE DIAMETER (µm)	200	400	600
JACKET OUTER DIAMETER (µm)	500	750	1000
MINIMUM BEND RADIUS (cm)	0.8	1.6	2.8
-3 db INTERMODAL DISPERSION (MHz-km)	20	15	10
FIBER TENSILE STRENGTH (0.5m GAUGE LENGTH) Nt/m ²	3.5 x 10 ⁹ (500 KPSI)	3.5 x 10 ⁹ (500 KPSI)	3.5 x 10 ⁹ (500 KPSI)

Fiber Parameters Shown Are Nominal Values



200 Frontage Road • West Haven, Connecticut 06516 • (203) 934-7981

Fiber Optics — FLCS Family

Photo Detector

Darlington Output

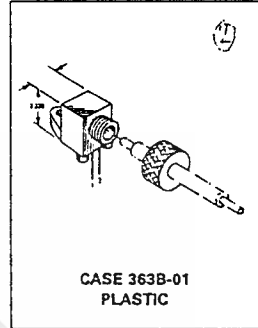
MFOD73

... 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.

- High Sensitivity Photodarlington Output
- 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)

FLCS FAMILY
FIBER OPTICS
PHOTO DETECTOR
DARLINGTON OUTPUT



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

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector-Emitter Voltage	V_{CEO}	60	Volts
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°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
Collector Dark Current ($V_{CE} = 10\text{ V}$)	I_D	—	—	100	nA
Collector-Emitter Breakdown Voltage ($I_C = 10\text{ mA}$)	$V_{(BR)CEO}$	60	—	—	Volts

OPTICAL CHARACTERISTICS

Responsivity ($V_{CC} = 5\text{ V}$, Figure 2)	R	1,000	1,500	—	$\mu\text{A}/\mu\text{W}$
Saturation Voltage ($\lambda = 850\text{ nm}$, $V_{CC} = 5\text{ V}$) ($P_{in} = 1\text{ }\mu\text{W}$, $I_C = 2\text{ mA}$)	$V_{CE(sat)}$	—	0.75	1	Volts
Turn-On Time $R_L = 100\text{ }\Omega$, $P_{in} = 1\text{ }\mu\text{W}$, $\lambda = 850\text{ nm}$, $V_{CC} = 5\text{ V}$	t_{on}	—	125	—	μs
Turn-Off Time	t_{off}	—	150	—	μs

MFOD73

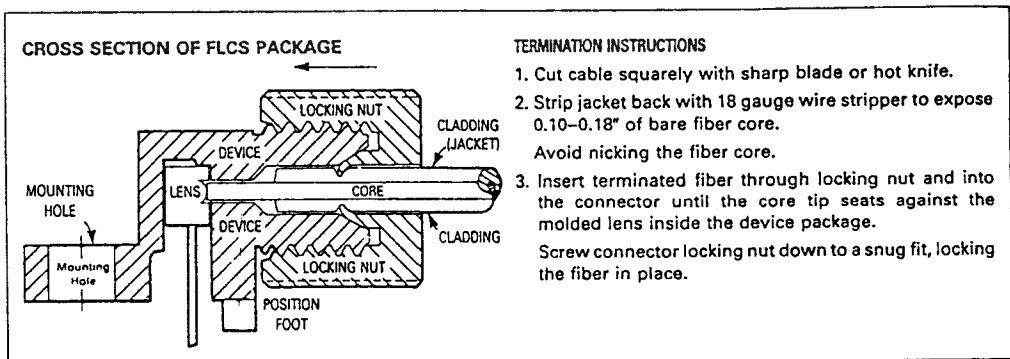


Figure 5. FO Cable Termination and Assembly

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL COUPLED CHARACTERISTICS

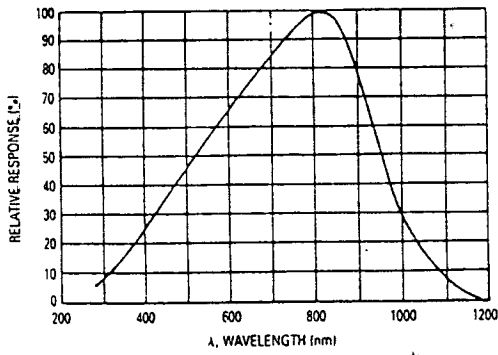


Figure 1. Relative Spectral Response

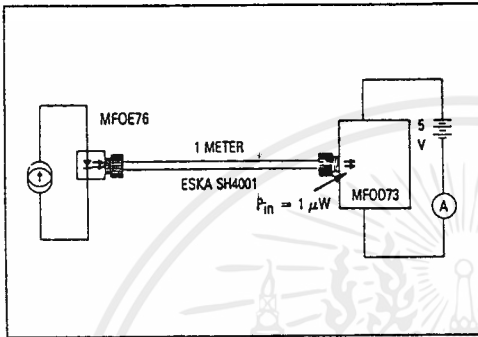


Figure 2. Responsivity Test Configuration

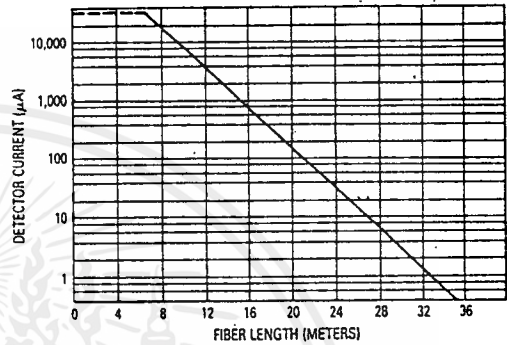


Figure 3. Detector Current versus Fiber Length

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_f) and the responsivity of the detector chosen. Each detector will perform with the MFOE76 up to the distances shown below.

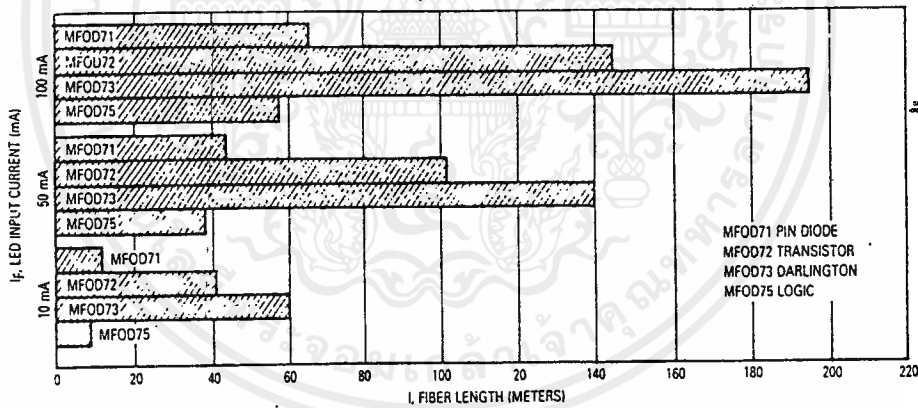


Figure 4. MFOE76 Working Distances

OUTLINE DIMENSIONS

NOTES:

- Y AND Z ARE DATUM DIMENSIONS AND T IS A DATUM SURFACE.
- POSITIONAL TOLERANCE FOR D Ø (2 PL): $\pm 0.25 (0.010) \text{ (T | Y | Z)}$
- POSITIONAL TOLERANCE FOR F DIMENSION (2 PL): $\pm 0.25 (0.010) \text{ (T | Y | Z)}$
- POSITIONAL TOLERANCE FOR H DIMENSION (2 PL): $\pm 0.25 (0.010) \text{ (T | Y | Z)}$
- POSITIONAL TOLERANCE FOR Q Ø: $\pm 0.25 (0.010) \text{ (T | Y | Z)}$
- POSITIONAL TOLERANCE FOR B: $\pm 0.25 (0.010) \text{ (T)}$
- DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
- CONTROLLING DIMENSION: INCH.

STYLE 3:
PIN 1, CATHODE
2, ANODE

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	19.30	21.33	0.760	0.840
B	9.14	9.29	0.360	0.370
C	7.62	8.12	0.300	0.320
D	1.55	1.62	0.061	0.064
E	2.41	2.66	0.095	0.105
F	0.43	0.58	0.017	0.023
G	2.54	BSC	0.100	BSC
H	0.33	0.45	0.013	0.018
J	7.62	BSC	0.300	BSC
K	9.91	11.43	0.390	0.450
L	1.14	1.65	0.045	0.065
N	2.54	BSC	0.100	BSC
O	3.05	3.30	0.120	0.130
R	7.62	8.12	0.300	0.320
S	5.08	BSC	0.200	BSC
U	0.68	0.91	0.028	0.036
V	6.86	7.11	0.270	0.280
W	5.08	BSC	0.200	BSC
X	10.87	11.55	0.428	0.455

**CASE 363B-01
PLASTIC**

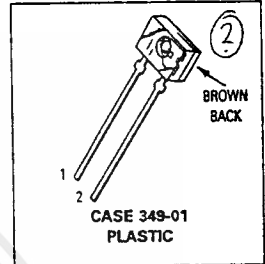
Infrared LED

This device is designed for a wide variety of infrared applications, including keyboards, end-of-tape sensors, coin or paper handlers, and other general sensing applications. The MLED71 can be used in conjunction with any MRD700 series detector. It features high power output, using gallium arsenide technology.

- Low Cost
- Popular Case 349 Package, with Molded Lens
- Uses Stable Long-Life LED Technology
- Clear Epoxy Package

MLED71

INFRARED
 LED
 940 nm



MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Reverse Voltage	V_R	6	Volts
Forward Current — Continuous	I_F	60	mA
Forward Current — Peak Pulse	I_F	1	A
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ (Note 1) Derate above 55°C	P_D	90 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 (Note 2)	—	260	°C

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

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Reverse Leakage Current ($V_R = 6\text{ V}$)	I_R	—	0.05	100	μA
Forward Voltage ($I_F = 60\text{ mA}$)	V_F	—	1.3	1.5	V
Temperature Coefficient of Forward Voltage	ΔV_F	—	-1.6	—	mV/K
Capacitance ($V = 0\text{ V}$, $f = 1\text{ MHz}$)	C	—	18	—	pF

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

Peak Wavelength ($I_F = 60\text{ mA}$)	λ_p	—	940	—	nm
Spectral Half-Power Bandwidth	$\Delta\lambda$	—	48	—	nm
Continuous Power Output ($I_F = 50\text{ mA}$) (Note 3)	P_o	2	2.5	—	mW
Instantaneous Power Output ($I_F = 100\text{ mA}$)	P_o	—	5	—	mW
Instantaneous Axial Intensity ($I_F = 100\text{ mA}$) (Note 4)	I_o	—	3.5	—	mW/sr
Power Half-Angle	θ	—	± 30	—	°
Optical Turn-On and Turn-Off Times	t_{on}, t_{off}	—	1	—	μs

- Notes: 1. Measured with device soldered into a typical printed circuit board.
 2. 5 seconds max; 1/16 inch from case. Heat sink should be applied during soldering, to prevent case temperature from exceeding 100°C .
 3. Measured using a Photodyne 88xLA with a #350 integrating sphere.
 4. On 0° axis, with cone angle of $\pm 13^\circ$.

TYPICAL CHARACTERISTICS

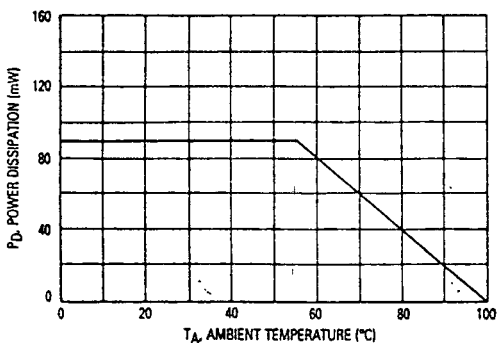


Figure 1. Power Dissipation

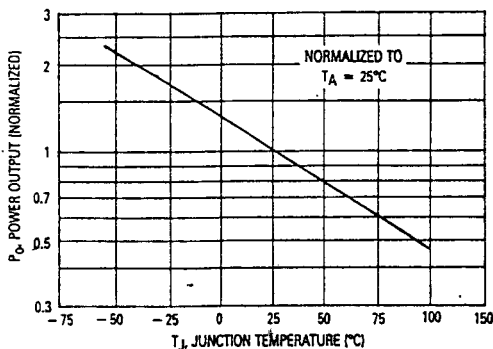


Figure 2. Instantaneous Power Output versus Ambient Temperature

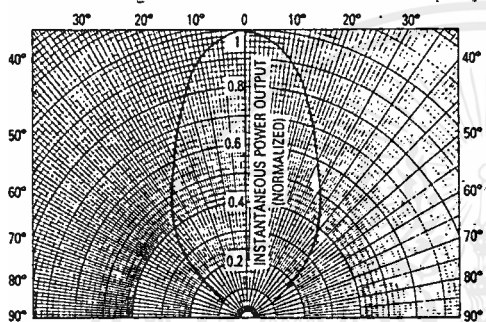


Figure 3. Spatial Radiation Pattern

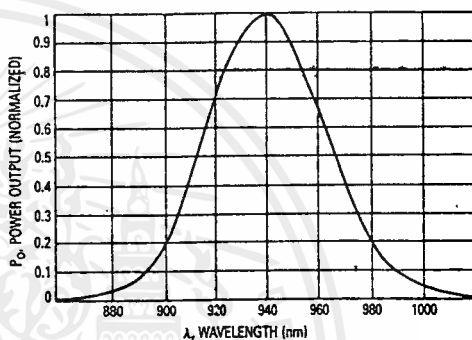


Figure 4. Relative Spectral Output

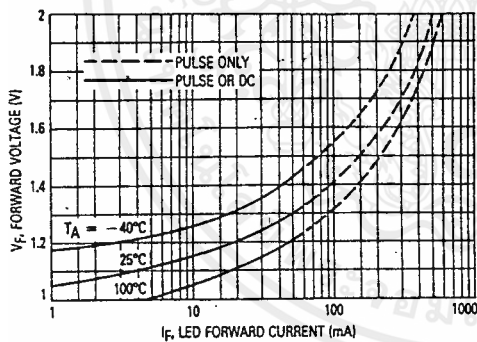


Figure 5. Forward Voltage versus Forward Current

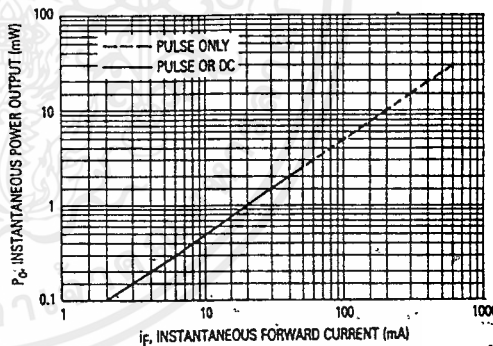


Figure 6. Instantaneous Power Output versus Forward Current

OUTLINE DIMENSIONS

CASE 349-01
PLASTIC

NOTES:

- DIMENSIONS A, B AND C ARE DATUMS.
- POSITIONAL TOLERANCE FOR D DIMENSION:
 $\pm 0.25 (0.010) \text{ (M)} \text{ T: [A] [C] [Q]}$
- POSITIONAL TOLERANCE FOR Q DIAMETER:
 $\pm 0.25 (0.010) \text{ (M)} \text{ A [B] [Q]}$
- T-1 IS SEATING PLANE.
- DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5, 1971.

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	3.43	4.60	0.135	0.185
B	2.79	3.30	0.110	0.130
C	2.03	3.18	0.080	0.125
D	0.43	0.60	0.017	0.024
F	1.14	1.40	0.045	0.055
G	2.54 BSC		0.100 BSC	
H	1.52 BSC		0.060 BSC	
J	0.23	0.56	0.009	0.022
K	12.83	19.05	0.505	0.750
N	3.05	3.30	0.120	0.130
Q	0.76	1.52	0.030	0.060
R	3.81	4.60	0.150	0.185

STYLE 1:
PIN 1, CATHODE
2, ANODE

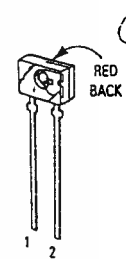
Visible Red LED

This device is designed for a wide variety of applications where visible light emission is desirable, and can be used in conjunction with any MRD700 series detector. The MLED76 features high power output, using gallium aluminum arsenide technology.

- Low Cost
- Popular Case 349 Package
- Uses Stable Long-Life LED Technology
- Clear Epoxy Package

MLED76

VISIBLE RED
 LED
 660 nm



CASE 349-01
 PLASTIC

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Reverse Voltage	V_R	5	Volts
Forward Current — Continuous	I_F	60	mA
Forward Current — Peak Pulse	i_F	1	A
Total Power Dissipation (at $T_A = 25^\circ\text{C}$ (Note 1) Derate above 35°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 (Note 2)	—	260	°C

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	μA
Forward Voltage ($I_F = 60\text{ mA}$)	V_F	—	1.8	2.2	V
Temperature Coefficient of Forward Voltage	ΔV_F	—	-2.2	—	mV/K
Capacitance ($f = 1\text{ MHz}$)	C	—	50	—	pF

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

Peak Wavelength ($I_F = 60\text{ mA}$)	λ_p	—	660	—	nm
Spectral Half-Power Bandwidth	$\Delta\lambda$	—	20	—	nm
Continuous Power Output ($I_F = 60\text{ mA}$) (Note 3)	P_O	—	2.2	—	mW
Instantaneous Power Output ($I_F = 100\text{ mA}$)	P_O	—	4	—	mW
Instantaneous Axial Intensity ($I_F = 100\text{ mA}$) (Note 4)	I_O	0.8	1.3	—	mW/sr
Power Half-Angle	θ	—	± 30	—	°
Optical Turn-On Time	t_{on}	—	200	—	ns
Optical Turn-Off Time	t_{off}	—	150	—	ns
Half-Power Electrical Bandwidth (Note 5)	BWe	—	6	—	MHz

- Notes: 1. Measured with device soldered into a typical printed circuit board.
 2. 5 seconds max; 1/16 inch from case. Heat sink should be applied during soldering, to prevent case temperature from exceeding 100°C .
 3. Measured using a Photodyne 88xLA with a #350 integrating sphere.
 4. On-axis, with cone angle of $\pm 13^\circ$.
 5. $I_F = 100\text{ mA}$ pk-pk, 100% modulation.

TYPICAL CHARACTERISTICS

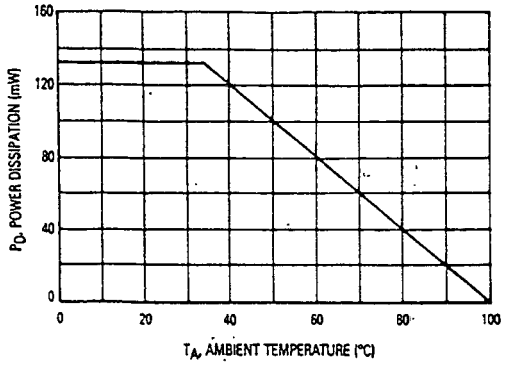


Figure 1. Power Dissipation

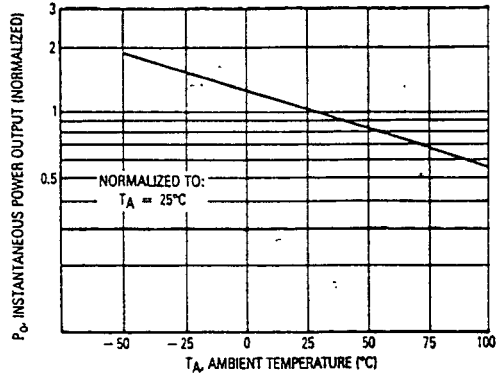


Figure 2. Instantaneous Power Output versus Ambient Temperature

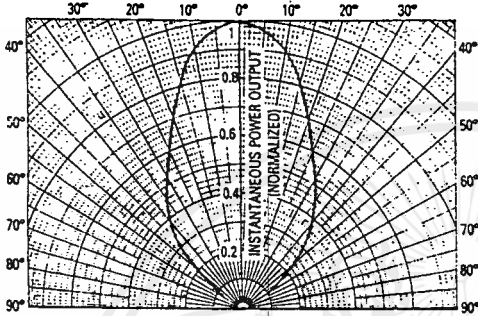


Figure 3. Spatial Radiation Pattern

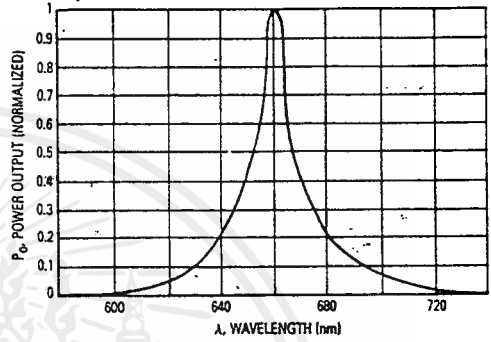


Figure 4. Relative Spectral Emission

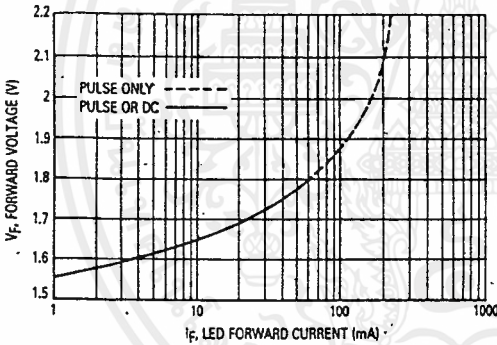


Figure 5. Forward Voltage versus Forward Current

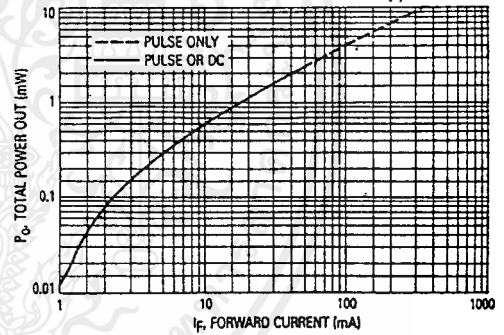
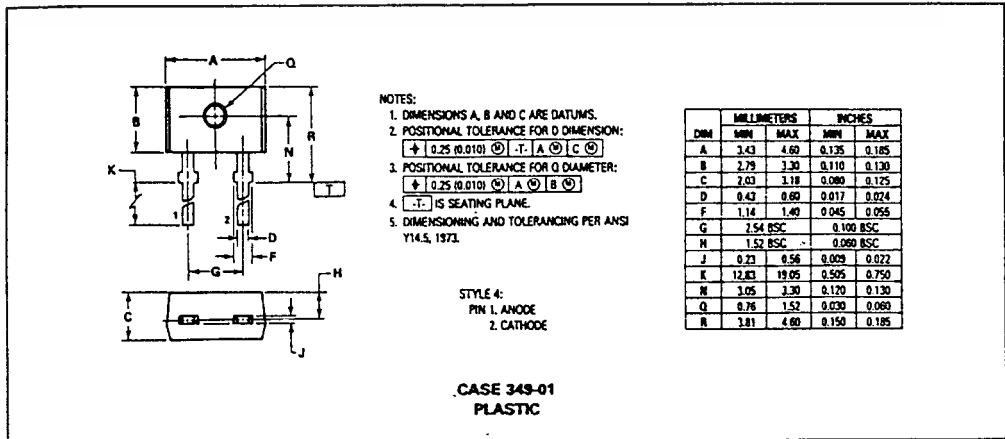


Figure 6. Instantaneous Power Output versus Forward Current

OUTLINE DIMENSIONS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้