

การปรับปรุงการทดลองการสื่อสารด้วยใยแสง
(FIBER OPTIC COMMUNICATION DEVELOPMENT)



ปฏิญานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาเทคโนโลยีโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการปีการศึกษา 2536 เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญาโท

การปรับปรุงการทดลองการสื่อสารด้วยใยแสง

(FIBER OPTIC COMMUNICATION DEVELOPMENT)

โดย

นายชัยวัตร รัตแดงวิพุธ เลขประจำตัว 35102049

นางสาววรรณฤดี เตชะสุวรรณ เลขประจำตัว 35102073

นายวิระ ชัยบำรุงรักษา เลขประจำตัว 35102076

อาจารย์ที่ปรึกษา คร. อนันต์ ชัยเลิศวิมลกุล

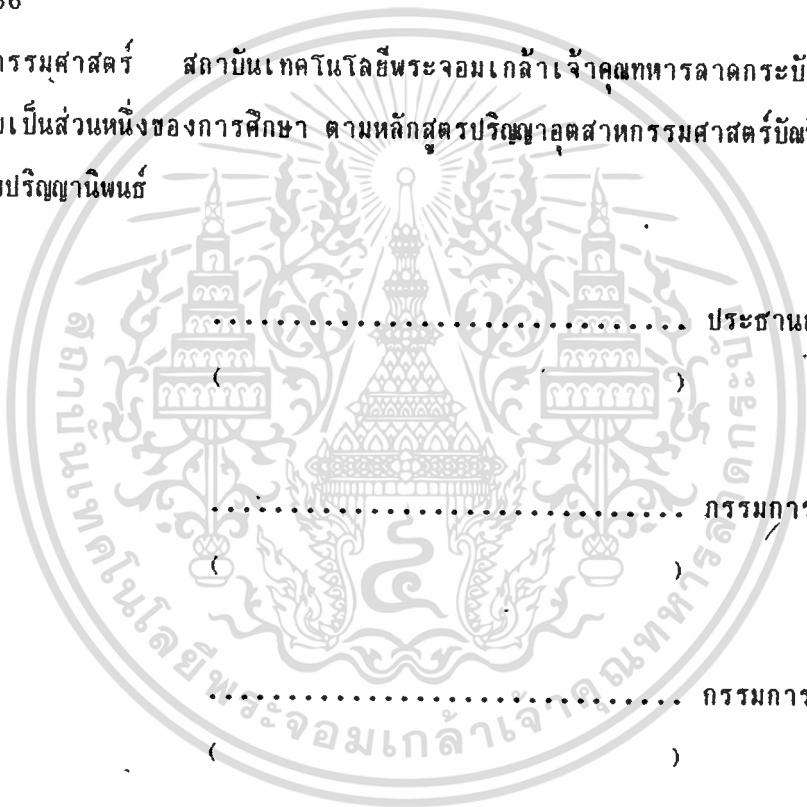
ภาควิชา เทคโนโลยีอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2536

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

อนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบปริญญาโท



..... ประธานกรรมการ

..... กรรมการ

..... กรรมการ

..... กรรมการ

..... กรรมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

การปรับปรุงการทดลองการสื่อสารด้วยใยแสง
(FIBER OPTIC COMMUNICATION DEVELOPMENT)

โดย นายชัชวรัตน์ รัตนคงวิพุธ
นางสาววรรณฤดี เตชะสุวรรณ
นายวิระ ชัยบำรุงรักษา

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. อนันต์ ชัยเลิศวิสกุล

บทคัดย่อ

ในโครงงานฉบับนี้ เสนอการทดลองเกี่ยวกับการส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแสง โดยใช้การแปลงสัญญาณทางไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง ผ่านไดโอดเปล่งแสง เพื่อส่งผ่านเข้าไปในเส้นใยแสง สำหรับด้านรับจะใช้ Pin Photo Diode ทำหน้าที่แปลงสัญญาณแสงกลับมาเป็นสัญญาณไฟฟ้าอีกครั้งหนึ่ง โดยการทดลองนี้ ใช้การส่งสัญญาณเสียง นำมา Modulate โดยใช้หลักการของ Monolithic VCO และการ Demodulates โดยใช้หลักการของ Phase Lock Loop

ABSTRACT

This thesis presents the transmission signal via fiber optic by using light emitting diode. In the receiver used pin photo diode for convert light signal that transmission from source to electrical signal. In the experiment signal that modulation use monolithic VCO and demodulation use principle of phase lock loop. ไม่นุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบฉันทนุญ

- ขอขอบคุณ อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.อนันต์ ชัยเลิศวิเชษฐกุล ที่ช่วยให้คำแนะนำต่าง ๆ ทำให้
โครงการนี้สำเร็จได้ตามวัตถุประสงค์
- ขอขอบคุณ อาจารย์ประจำภาคเทคนิคอุตสาหกรรมทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้
ทำให้สามารถนำความรู้มาประยุกต์ใช้ในโครงการนี้
- ขอขอบคุณ คุณจักรี ศิริพิมพ์วัฒนา เจ้าหน้าที่ประจำภาคเทคนิคอุตสาหกรรม ที่ให้ความร่วมมือและ
อำนวยความสะดวกในทุก ๆ ด้าน
- ขอขอบคุณ เพื่อน ๆ ทุกคน และบุคคลอื่น ๆ ที่มีส่วนช่วยเหลือในโครงการนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

กิตติกรรมประกาศ

บทที่ 1 บทนำ 1

บทที่ 2 ทฤษฎี 2

- แนะนำการสื่อสารทางแสง
- การสื่อสารด้วยใยแสง
- ระบบเส้นใยแสง
- การบำรุงรักษา

บทที่ 3 โครงสร้าง 30

- Infrared Pulse
- ตัวกำเนิดแสง, ตัวรับแสง
- Phase Lock Loop
- VCO
- Low Pass Filter

บทที่ 4 MEASUREMENT AND RESULT 57

สรุปผล

บรรณานุกรม

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสง Infrared เป็นแสงที่มีความยาวคลื่นสั้นกว่า Microwave จนถึงความยาวคลื่น $0.7 \mu\text{m}$ เป็นแสงที่มีความยาวคลื่นของแสงยาวกว่าแสงสีแดง ตาของเราไม่สามารถมองเห็นได้ ในอดีตไม่ค่อยจะมีใครให้ความสนใจและมีความรู้หรือจะนำเอาแสง Infrared นี้มาใช้ประโยชน์ในด้านสื่อสาร ทั้งนี้เนื่องจากความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีของ Cable ไม่สามารถจะ Response Electro Magnetic Wave ที่มีความถี่ของคลื่นความถี่สูงขนาดนี้ได้

หลังจากที่ได้มีการค้นพบ Fiber Optic ซึ่งเป็น Polymer ชนิดหนึ่งโดยมีคุณสมบัติพิเศษอย่างหนึ่งคือ สามารถนำแสงจากปลายข้างหนึ่งไปสู่ปลายอีกข้างหนึ่งได้ โดยไม่คำนึงว่าสาย Fiber Optic นั้นจะวางขดไปขดมาอย่างไร (คือแสงจะเดินทางไปตาม Fiber Optic เท่านั้น เหมือนกับไฟฟ้าที่เดินทางไปในสายไฟฟ้า) จึงได้มีการริเริ่มค้นคว้าที่จะใช้แสง Infrared มาใช้ในการสื่อสารโดยให้ Fiber Optic เป็น Transmission Line และระยะหลังๆ นี้ หลังจากได้มีการพัฒนาการสื่อสารโดยใช้แสง Infrared แล้วพบว่า การสื่อสารแบบนี้ประหยัดและดีกว่าการใช้การสื่อสารโดยใช้สาย Cable ที่เป็นโลหะทั้งนี้เนื่องจาก

- สามารถเว้นระยะห่างของ Repeater ให้ห่างออกไปได้ถึง 10 เท่าของสายโลหะ
- ไม่เกิดการรบกวนจากคู่สายข้างเคียงเนื่องจากการ Induce
- สามารถทำให้สาย Cable จุกคู่สายได้มากกว่าในขณะที่ขนาดสายโลหะมีขนาดเท่าๆ กัน (10-20%)
- Modulation ได้ Channel มากกว่า
- บำรุงรักษาง่าย เนื่องจากความชื้นไม่มีผลต่อคุณสมบัติของสาย
- ราคาของสาย Fiber Optic มีราคาใกล้เคียง ถูกกว่าสายทองแดง

เนื่องจากว่าการสื่อสารแบบที่ใช้แสงนี้มีข้อดีว่าการสื่อสารแบบเก่ามาก หลายๆ ประเทศเช่น สหรัฐอเมริกา อังกฤษ ญี่ปุ่น ได้มีการพัฒนาการสื่อสารประเภทนี้มากและคาดว่าจะมีการสื่อสารโดยใช้แสง Infrared ส่งผ่าน Fiber Optic ในระบบโทรศัพท์ด้วย

การแนะนำเรื่องการสื่อสารทางแสง

- รูปแบบของการสื่อสารทางแสง

การสื่อสารทางแสงคืออะไร?

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

การพยายามตอบคำถามสำหรับบุคคลที่ยังไม่เคยมีความรู้เกี่ยวกับเรื่องนี้มาก่อน จะต้องกระทำดังต่อไปนี้

ในรอบหลายปีที่ผ่านมา การพัฒนาการสื่อสารทางไฟฟ้าได้ดำเนินรุดหน้าไปอย่างรวดเร็ว ปัจจุบันเป็นสิ่งธรรมดาที่พบเห็นกันได้ทั่วไป เช่น การแข่งขันกีฬาโอลิมปิกที่ทำการถ่ายทอดทางโทรทัศน์ โดยการส่งผ่านดาวเทียม นั่นคือมันจะปรากฏภาพทันที แม้ว่าเหตุการณ์นั้นจะได้จัดขึ้นที่อีกซีกหนึ่งของโลกก็ตาม

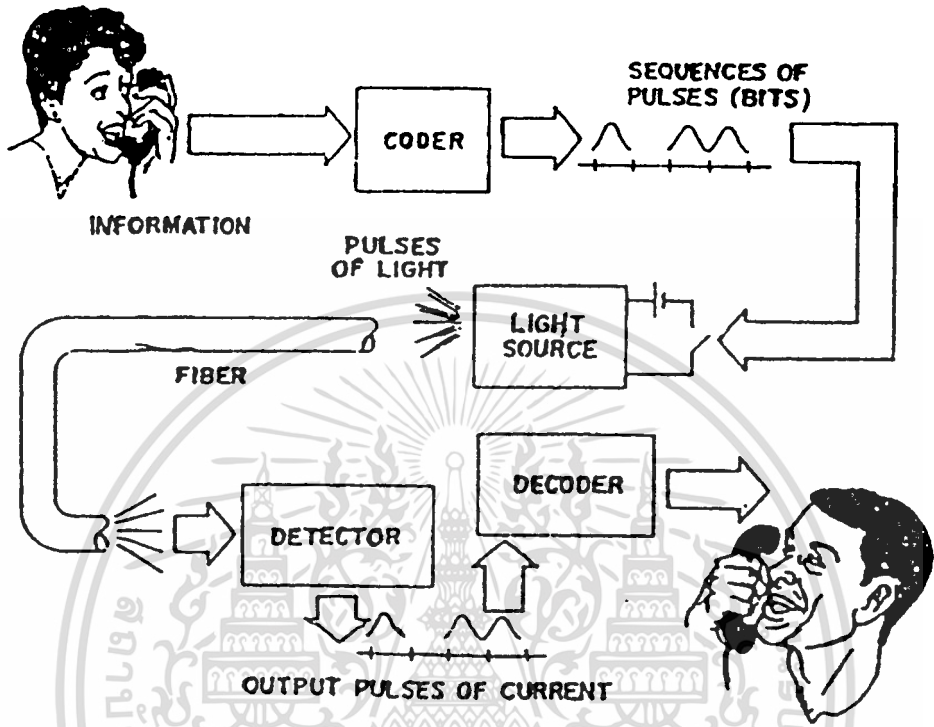
ในอนาคตชีวิตประจำวันสำหรับครอบครัวจะขึ้นอยู่กับโทรทัศน์มากขึ้น เช่น บริการทางการแพทย์ และข่าวสารการศึกษา โทรสารสำหรับการส่งจดหมายและหนังสือพิมพ์ ผลที่ได้รับคือ การประหยัดเวลาและทรัพยากรทางธรรมชาติเป็นอันมาก ถึงแม้ว่าการส่งข่าวสารและโทรศัพท์ ภาพ อาจจะทำให้หาได้ง่าย เพื่อที่จะให้มีการบริการในสิ่งเหล่านี้ การส่งจะต้องมีประสิทธิภาพ เป็นหลายร้อยเท่าของระบบที่มีอยู่ในปัจจุบัน

ในปี พ.ศ. 2513 ได้พบวิธีการที่จะลดการสูญเสียลงได้เป็นจำนวนมากและการทำงานของเลเซอร์สารกึ่งตัวนำสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิห้อง เนื่องจากอายุการใช้งานของเลเซอร์สามารถเพิ่มได้มากขึ้น และสามารถผลิตเส้นใยแสงให้มีการสูญเสียค่าได้ ทำให้การสื่อสารด้วยใยแสงได้รับการยอมรับในทางปฏิบัติ

เรายังคงเพิ่งเริ่มต้นในยุคของการสื่อสารทางแสง แต่ขณะนี้ความเป็นไปได้ยิ่งมีมากกว่าหน่อเล็ก ๆ นี้จะเติบโตเป็นต้นไม้ขนาดใหญ่ในอนาคตอันใกล้

อีกประการหนึ่งความถี่ของแสงอุลตราไวโอเล็ต และรังสีเอ็กซ์-เรย์ สูงกว่า Optical Ray มาก และมีความเหมือนกันคือ การรวมตัวของโฟตอนทำให้พลังงานเพิ่มขึ้นผลที่ตามมาคือ Quantum Noise สูงมาก และการเชื่อมติดกับสายรับ-ส่งและรีเฟลคเตอร์ทำได้ยากมาก ในหลักการแล้วความถี่เหล่านี้ไม่เหมาะที่จะใช้ส่งข้อมูล เพราะฉะนั้นคลื่นแสงที่มองเห็นได้จึงเป็นประเภทที่ดีที่สุดท้ายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่จะนำมาใช้กับระบบโทรคมนาคมได้อย่างยิ่งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในหลักมูลควมนี้ ระบบสื่อสารทางแสงส่วนใหญ่อจะใช้เส้นใยแสง และใช้สารกึ่งตัวนำเป็นแหล่งกำเนิดแสง ในรูปที่ 1 ที่จะกล่าวถึงเป็นระบบทั่ว ๆ ไป



รูปที่ 1 ระบบการสื่อสารทางแสงเบื้องต้น

ในรูปแบบของการสื่อสารทางแสงนั้น ในขั้นแรกสัญญาณ (เสียงคำพูด) ที่ผู้ใช้งานต้องการจะส่ง จะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าในเครื่องส่งซึ่งมันจะถูกมอดูเลตกับความเข้มของแสงที่แหล่งกำเนิดแสง ซึ่งอาจจะเป็นเลเซอร์หรือไดโอดเปล่งแสง (วิธีการนี้เรียกว่า มอดูแลชัน)

สัญญาณแสงถูกส่งผ่านเข้าไปในทางเดินของแสงในเส้นใยแสง และถูกตรวจรับที่ปลายทางด้านรับด้วยโฟโตดีเทคเตอร์ ซึ่งสัญญาณแสงจะถูกเปลี่ยนกลับเป็นสัญญาณไฟฟ้าตามเดิม (คลื่นเสียง)

หลายศตวรรษมาแล้วที่มนุษย์รู้จักใช้การสื่อสารด้วยแสง เช่น คบเพลิง, สัญญาณไฟ และโดยการสะท้อนของแสงด้วยกระจก จนกระทั่งปัจจุบันสัญญาณแสงก็ยังมีใช้อยู่ เช่น การสื่อสารระหว่างเรือ โดยที่ใช้ส่งสัญญาณแสงด้วยรหัสมอส

การพัฒนาอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ให้ทำงานเป็นแหล่งกำเนิดแสง โดยอาศัยข้อมูลการวิจัยในยุโรปและอเมริกา เป้าหมายของการพัฒนาของหลอดคายประจุและหลอดไฟหรือปรากฏการณ์ของแสงที่เปล่งออกมาจากแท่งเรืองแสงก็ได้โดยเฉพาะการเปล่งแสงที่ได้โดยการให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านวัสดุเชื่อมต่อนอง

สารกึ่งตัวนำ ในผลึกเชิงเดี่ยวของสารกึ่งตัวนำ เช่น แกลเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs) การเปล่งแสงสูง
กว่ามาก เพราะฉะนั้นจึงได้มีการพัฒนาวิธีการผลิตสารกึ่งตัวนำ ให้เหมาะสมที่จะจัดให้เป็นแหล่งกำเนิด
แสง

ในอดีตแนวความคิดของการส่งสัญญาณแสง ในสมัยกรีกโบราณ ซึ่งเทคโนโลยีของการผลิต
แก้วได้เริ่มขึ้น ได้สังเกตเห็นว่าแสงสามารถผ่านแท่งแก้วได้ ในทางองเดียวกันในประเทศอังกฤษ ซึ่งมี
ความรู้เกี่ยวกับแสงรุ่งเรืองเรื่องมาก ในศตวรรษที่ 19 ได้สังเกตแสงที่ผ่านท่อน้ำที่มีรูแคบมาก การทดลอง
เรื่องการส่งแสงผ่านเส้นใยแก้วได้กระทำเป็นครั้งแรกที่ประเทศเยอรมันนี้ ในปี พ.ศ. 2473

ในปี พ.ศ. 2501 ประเทศอังกฤษได้เสนอแนะรูปร่างของเส้นใย ซึ่งประกอบด้วยส่วนใน
สุดเป็นแก้วแล้วหุ้มด้วยส่วนประกอบของแก้วที่คล้ายกันในตอนต้นปี พ.ศ. 2503 ที่ประเทศญี่ปุ่นได้ประดิษฐ์
เส้นใยแก้วขึ้นมา เพื่อวัตถุประสงค์ของการส่ง Optical Pictures แต่การส่งมีการสูญเสียของแสง
สูงมาก เพราะความเข้มข้นของแสงที่ส่งผ่านเส้นใยที่มีความยาวไม่ถึง 1 เมตรได้ลดลงเป็นจำนวนมาก
เพราะฉะนั้นการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยก็ถูกทิ้งไว้

ประมาณปี พ.ศ. 2503 ประเทศสหรัฐอเมริกาได้กระทำการทดลองที่เกี่ยวกับสายส่งประ
เภทต่าง ๆ โดยการใชรูปแบบของ Optical Waveguide ที่ต่างกัน และประกอบด้วย เลขที่ที่รวมแสง
เข้าหากันตรงจุดที่แสงอ่อนลงเป็นช่วง ๆ เรียงกันไปตามลำดับรูปแบบหนึ่งของระบบนำแสงประกอบด้วย
เลนซ์ 10 ชุด แต่ละจุดรวมแสงยาว 50 เมตร และระยะห่างเป็นช่วง ๆ ละ 100 เมตร ภายในท่อ
ขยายให้ยาวได้ถึง 1 กิโลเมตร แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในตอนแรกก็คือ หลอดขึ้นอน

ในปี พ.ศ. 2503 เป็นช่วงเวลาเดียวกันที่สหรัฐได้ทำการวิจัยอย่างคร่ำคร่า ผลที่ได้รับ
เป็นความสำเร็จครั้งแรกคือการทำงานของ โชลิต-สเตท รูบี้เลเซอร์, ซีเลียม/นีออนก๊าซเลเซอร์ในปี
พ.ศ. 2504 และสารกึ่งตัวนำ เลเซอร์ แกลเลียมอาร์เซไนด์ ในปีพ.ศ. 2505 โดยทั่วไปได้เข้าใจว่า
สิ่งที่ปรากฏขึ้นของสิ่งใหม่ ๆ เหล่านี้ และแหล่งกำเนิดแสงที่มีความยาวคลื่นสั้นแล้ว ถือว่าเป็นมิติที่ดี
ของการสื่อสารทางแสงที่จะให้ระบบของการสื่อสารที่มีคุณภาพระดับสูง หลังจากที่ได้มีการวิจัยกันอย่างต่อ
เนื่องของคุณสมบัติที่เป็นไปได้ของแหล่งกำเนิดแสง เฟบริ-เพอโรท (Fabry-perot Resonator) ซึ่งคลื่น
ถูกจำกัดอยู่ระหว่างกระจก 2 แผ่น ผลที่ได้รับคือหลักฐานทางทฤษฎีได้เป็นที่ยอมรับกันในหลักการของ
การส่งลำแสงที่คงที่จากแหล่งกำเนิดเลเซอร์ผ่านอวกาศ

ในปี พ.ศ. 2507-2508 ได้มีการเสนอให้ใช้ก๊าซเลนซ์เป็นตัวกำหนดแสง และในเวลา
เดียวกันก็ได้มีการนำมาทดสอบ อุปกรณ์นี้คือก๊าซเลนซ์ ที่มีการสูญเสียต่ำเนื่องจากดัชนีหักเหของ
แสงลดลงจากแกนกลางของเส้นใย ดังนั้น ลำแสงจะถูกจำกัดให้อยู่ใกล้กับแกนกลาง ในเวลาเดียวกัน
หลักการทางคณิตศาสตร์ของทางเดินของแสงที่เคลื่อนที่ไปเรียกว่า Lenslike-medium ซึ่งเป็นที่ยอมรับ
กันทั่วไปเนื่องจากเป็นระบบที่ต้องการเฟาเวอร์เป็นจำนวนมากที่จะทำให้เกิด Refractive-index

Profile ในปริมาณของก๊าซจำนวนมาก และเหตุผลอื่น ๆ อีก ความคิดที่จะใช้ก๊าซเลนส์มาเป็นทางเดินของแสงก็หยุดชะงักลง ถึงแม้จะได้รับผลประโยชน์หลายอย่างในเวลาเดียวกันก็ตาม รวมทั้งความเชื่อว่าคลื่นแสงถูกจำกัดให้อยู่กับแกนกลาง ข้อคิดเห็นที่ว่าดัชนีที่แผ่กระจายในรูปของพาราโบลิกในเส้นใยจะขัดแย้งกลุ่มความเร็วของโหมดที่เคลื่อนที่ในชั้นต่าง ๆ และวิธีที่จะใช้คำนวณเกี่ยวกับทางเดินของแสง

อีกประการหนึ่งในปี พ.ศ. 2509 ได้มีการประยุกต์ใช้เลเซอร์กับการสื่อสารทางแสง ทำให้เกิดการสนใจทั้งในอเมริกาและญี่ปุ่น และทราบว่าวิธีการมอดูเลชันที่ความถี่สูงมากนั้นมีความเป็นไปได้ เช่นเดียวกับความคิดที่จะนำเส้นใยแก้วนำแสงมาเป็นสายรับ-ส่ง ได้เริ่มต้นอีกครั้งทั้งในประเทศอังกฤษและญี่ปุ่น และความพยายามที่จะสูญเสียจากการส่งให้ต่ำลง และการวิจัยเรื่องที่เกี่ยวข้องกับแบนด์วิธก็ได้เริ่มต้น

ประมาณปี พ.ศ. 2513 ผลจากการวิจัยทั้งสองอย่างมีความสำคัญอย่างมากต่อการสื่อสารทางแสง อย่างแรกคือการทำงานอย่างต่อเนื่องของเลเซอร์ที่อุณหภูมิห้องในอเมริกา ต่อไปก็คือการปรับปรุงเรื่องอายุการใช้งานทั้งในอเมริกาและญี่ปุ่น อีกอย่างก็คือการลดลงอย่างมากของการสูญเสียจากการส่ง จากที่อังกฤษทำไว้ระหว่าง 150 เดซิเบลต่อกิโลเมตร ได้ลดลงเหลือประมาณ 20 เดซิเบลต่อกิโลเมตร ทั้งในอเมริกาและญี่ปุ่น เมื่อไม่นานมานี้ได้มีการพัฒนาเกี่ยวกับอุปกรณ์ทางแสงและสายรับ-ส่ง เส้นใยแสงเป็นหลัก ปัจจุบันนี้ในทางปฏิบัติได้พิสูจน์ให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้อย่างมากที่จะนำการสื่อสารทางแสงมาใช้กันอย่างกว้างขวางขึ้น สายรับ-ส่ง เส้นใยแสงได้มีการปรับปรุงกันอย่างรวดเร็ว บางส่วนได้นำวิธีการผลิตสารกึ่งตัวนำมาใช้ ซึ่งได้มีการพัฒนามาอย่างดีแล้ว ซึ่งให้ทั้งการสูญเสียต่ำและมีแบนด์วิธกว้างกว่าสายรับ-ส่งอย่างอื่น ๆ

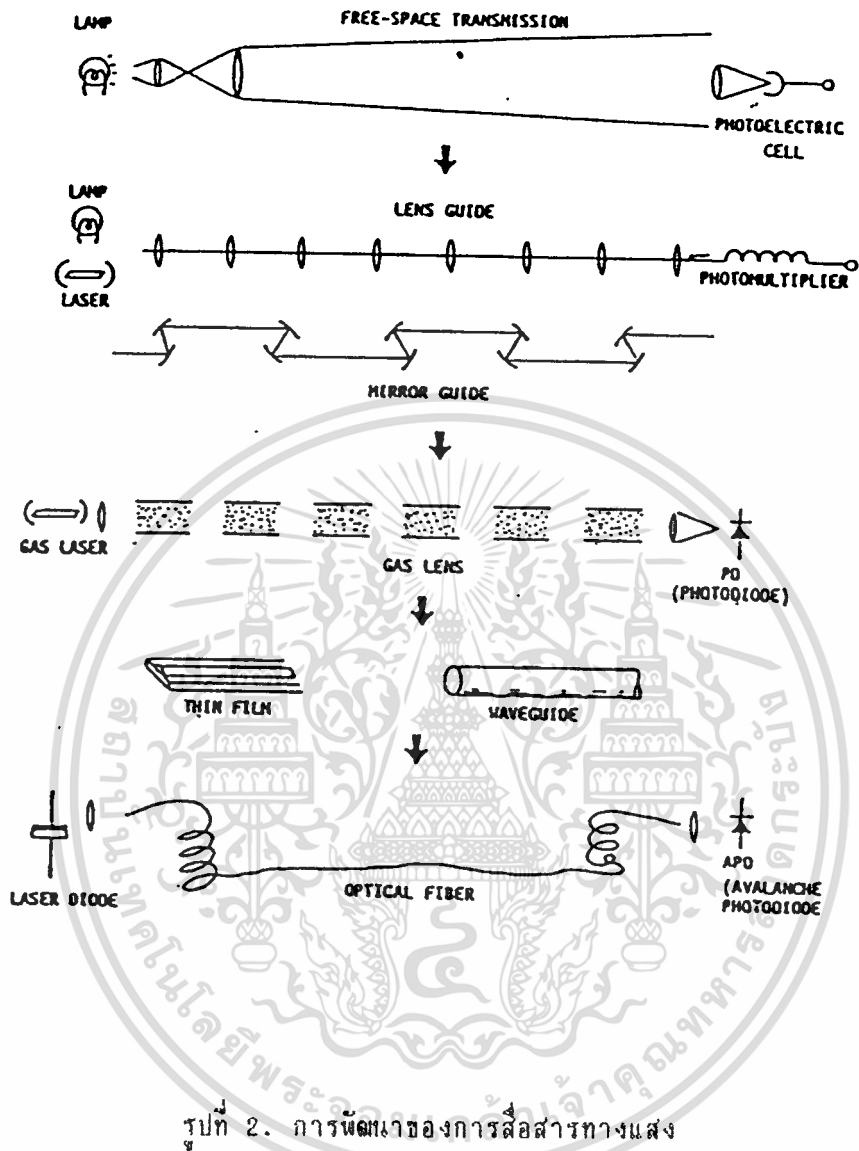
ได้มีข้อเสนอแนะที่แตกต่างกันหลายประการที่ใช้กับการส่งสำหรับการสื่อสารทางแสง เพราะว่าบางวิธีอาจจะใช้บางโอกาสในอนาคต ซึ่งเราจะได้ศึกษากันอย่างย่อ ๆ และเปรียบเทียบวิธีเหล่านั้นกับเส้นใยแสง รูปที่ 2 ข้างล่างนี้แสดงให้เห็นถึงวิธีการพัฒนาของการสื่อสารทางแสง เริ่มต้นด้วยการเดินทางของลำแสงจากหลอดไฟแสงสว่างผ่านไปในอากาศ การนำทางของแสงจากเลเซอร์ไดโอดไปตามเส้นใยแสง

การเดินทางเป็นเส้นตรงของลำแสงเลเซอร์ผ่านชั้นบรรยากาศ

ลำแสงเลเซอร์ที่แผ่กระจายในอากาศมีทิศทางที่แน่นอนมาก ดังนั้น มันจึงถูกส่งไปได้เป็นระยะทางไกล ๆ 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 ของการกระจาย Gaussian Beam และตรงกับปริมาตรที่ความเข้มของแสงลดลงที่ $i = 1/i_0$ ($i = 20718$) ของค่ายอดของมัน



รูปที่ 2. การพัฒนาของการสื่อสารทางแสง

(บางครั้ง Spot Size กำหนดจากรัศมีของลำแสง W ซึ่งเป็นขอบเขตของแอมพลิจูด และไม่ใช้ความเข้มของลำแสงต่างจาก i/i ของค่ายอด ในกรณีนี้ $W = 2W_0$) ความกว้างของมุมที่แผ่ออกของลำแสง กำหนดจาก

$$\Delta\theta = \lambda / 2rW_0 = 0.32 \text{ rad.}$$

เส้นผ่าศูนย์กลาง 0 ของลำแสงที่จุดใด ๆ ขึ้นอยู่กับ จะเห็นได้ว่า มีมุมแคบมาก เมื่อ Spot Size W_0 เพิ่มขึ้นที่จุดแพร่กระจายจากศูนย์กลางและมีความยาวคลื่นสั้นมากด้วยเหมือนกัน การคำนวณเหล่านี้เป็นหลักการที่ส่งแรงจูงใจต่อการใช้งานใยแก้วนำแสงในปัจจุบัน การคำนวณเหล่านี้ใช้ได้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่น ตัวอย่างที่ความยาวคลื่น = 0.63 และ 10.6 ไมโครเมตร กับ $\omega_0 = 1$ มิลลิเมตร คือ $0.006 = 10 \text{ rad}$ และ $0.01 = 1.7 \times 10 \text{ rad}$ ตามลำดับ ซึ่งเป็นมุมที่แคบมากเนื่องจากมุมเหล่านี้แคบ พลังงานที่มันเดินทางไปได้ระยะทาง 1 กิโลเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางของลำแสงที่กระจายออกไปมีขนาดเพียง 10 เซนติเมตร และ 1.7 เมตร ตามลำดับ ในอวกาศภายนอกชั้นบรรยากาศของโลกแสงที่มีมุมแคบนี้ทำให้มันเดินทางไปได้ระยะทางไกลมาก

ภายในชั้นบรรยากาศของโลก การสูญเสียที่เกิดจากการดูดซึมขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นแสงจึงจำเป็นต้องเลือกใช้ความยาวคลื่นแสงที่มีการดูดซึมต่ำ ตรงกับที่เรียกชั้นบรรยากาศนี้ว่า "window" นอกจากนี้ ในสายฝนหรือภาวะของอากาศที่เกิดเป็นหมอกแล้วแสงของแสงจะถูกดูดซึมมากและทำให้แสงเกิดการละลาย และมีการสูญเสียมากกว่า 20-30 เดซิเบลต่อกิโลเมตร ในสภาพการณ์ที่เลว ถึงแม้ว่าอากาศจะดี และไม่มีกระแสลม ลำแสงก็เคลื่อนที่อย่างไม่ทิศทาง เนื่องจาก "ปรากฏการณ์ภาพลวงตา" (Mirage Phenomenon) ซึ่งเป็นสาเหตุจากอุณหภูมิและดัชนีหักเหลดลง และทำให้ลำแสงไม่คงที่เช่นเดียวกัน ถ้าเลนส์ทางด้านส่งและตัวรับเกิดการสั่น จะทำให้เฟาเวอร์ที่ได้รับเกิดการผันแปรอย่างมาก เนื่องจากผลที่เกิดขึ้นเหล่านี้เช่น ไม่มีการป้องกันลำแสงขณะที่กำลังเดินทางไปในชั้นบรรยากาศ ฉะนั้นมันจึงไม่เหมาะที่จะใช้ส่งในระยะทางไกลได้ อย่างไรก็ตามสำหรับระยะทางใกล้ ๆ ที่มีระยะทางไม่กี่สิบลเมตร วิธีการสื่อสารแบบง่าย ๆ นี้ก็เชื่อถือได้ และยังสามารถใช้ประโยชน์ได้อีกในหลายเรื่องด้วยกัน

วิธีการที่เกี่ยวข้องกับ Lens Waveguide

ได้เคยกล่าวมาแล้วว่าระบบ Waveguide ซึ่งลำแสงจะถูกนำทางโดยเลนส์หรือจากกระจกที่วางอยู่ภายในท่อที่มีการทดสอบไปแล้ว วิธีนี้สามารถส่งลำแสงที่มีขนาดเล็กได้ตลอด โดยการโฟกัสมันเป็นช่วง ๆ และป้องกันไม่ให้ถูกรบกวนจากสภาพอากาศภายนอก

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

$$W = \sqrt{L}$$

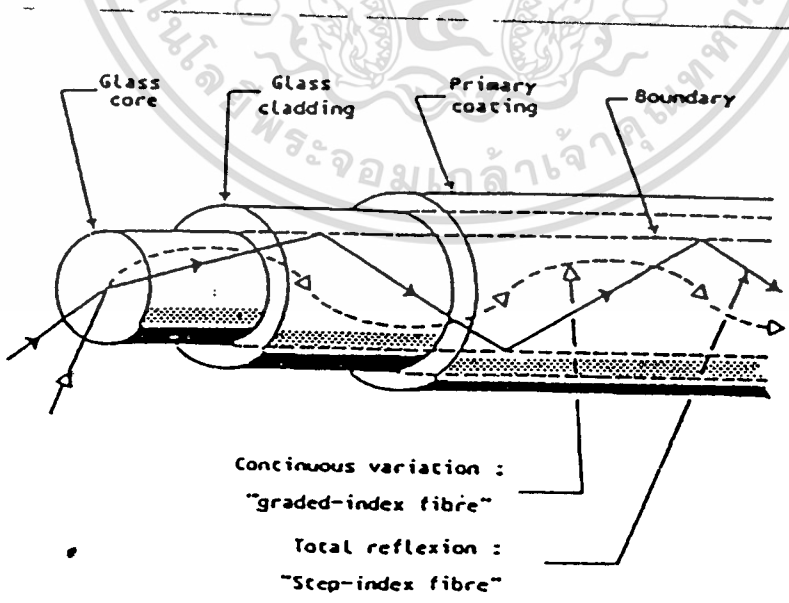
เช่น ตัวอย่าง $W = 3.2$ มิลลิเมตร สำหรับ $2L = 100$ เมตร และ $\lambda = 0.63$ ไมโครเมตร เพราะฉะนั้นเพื่อความเหมาะสมสำหรับเลนส์แต่ละชุด ซึ่งเป็นจุดรวมแสงยอมให้ตำแหน่งของเลนส์นั้นผันแปรได้เล็กน้อย เส้นผ่าศูนย์กลางของเลนส์ต้องมีขนาดหลายเซนติเมตร ถ้าใช้เลนส์เคลือบน้ำยาเพื่อป้องกันแสงสะท้อน จะทำให้ได้ค่าสูญเสียในสายส่ง (Transmission loss) ที่ต่ำประมาณ 0.5 เดซิเบลต่อกิโลเมตร อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตามในระบบ waveguide นี้ตำแหน่งของเลนส์อาจคลาดเคลื่อนได้เล็กน้อยเนื่องจากการสั่นสะเทือนของแผ่นดิน รวมทั้งแผ่นดินไหวและอื่น ๆ ในทางอนึ่ง ดังนั้น สวิตช์ทางโครงสร้างจะลดลง ทำให้ลำแสงไม่ตรงตัวเช่นเดียวกันถ้าอุณหภูมิที่มีอยู่ระหว่างตอนต้นและตอนปลายของท่อแตกต่างกันจะเป็นเหตุให้ลำแสงเกิดการเบี่ยงเบน เนื่องมาจากอากาศภายในท่อทำให้เกิดปริมาตรขึ้น เพราะฉะนั้นส่วนปลายของท่อจะต้องมีฉนวนมาปิดหรือต้องขจัดอากาศออกจากเหตุผลเหล่านี้และอื่น ๆ จะไม่ใช่เลนส์เป็นตัวนำแสง หรือพูดโดยทั่วไปว่าไม่เหมาะที่จะใช้เป็นสาย-รับส่ง อีกประการหนึ่ง ถ้าโครงสร้างมีการปรับแต่งโดยอัตโนมัติรวมกันเข้าเป็นระบบก็สามารถใช้มันเป็นเครื่องตรวจสอบการสั่นสะเทือนของแผ่นดินได้ ซึ่งก็เป็นการใช้งานอีกวิธีหนึ่งของระบบนี้

- การสื่อสารด้วยเส้นใยแสง

- สายรับ-ส่งเส้นใยแสง

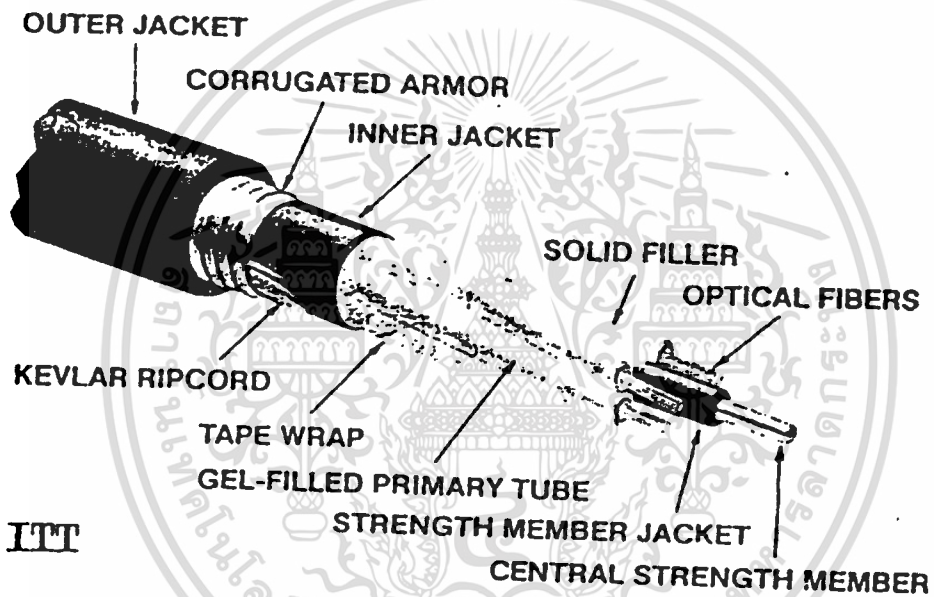
โครงสร้างของสายรับ-ส่งเส้นใยแสงประกอบด้วยส่วนตรงกลางที่เรียกว่า Core มีดัชนีหักเหของแสง n_1 , หุ้มด้วยวัสดุที่เรียกว่า Cladding มีดัชนีหักเหของแสง n_2 , ต่ำกว่า n_1 , ดังนั้นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะถูกจำกัดอยู่ในส่วนของ Core และ Cladding ที่มีอยู่ภายในทั้งหมด เส้นใยแสงเป็นรูปแบบของ Dielectric Waveguide ซึ่งเป็นชนิดของ ซิลิกาแก้วและมัลติคอมโพเนนท์แก้วปกติใช้เป็นส่วนประกอบของฉนวนไฟฟ้า ในบางกรณีอาจใช้สารพลาสติกหรือของเหลวก็สามารถนำมาเป็นส่วนประกอบอย่างหนึ่งของสารประกอบวัสดุอื่น ๆ ที่สามารถนำมาใช้ได้เช่น แก้ว, พลาสติก, หรือสารกึ่งตัวนำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิรูปที่ 3. เส้นใยแสงชนิดมัลติโหมด



เส้นผ่าศูนย์กลางของ Core จะอยู่ที่ประมาณ 2-3 ไมโครเมตร ถึง 20-30 ไมโครเมตร และเส้นผ่าศูนย์กลางรัศมีของ Cladding อยู่ที่ระหว่าง 100-200 ไมโครเมตร อย่างไรก็ตามเส้นใยที่ยังไม่ได้หุ้มมีความเปราะมากและเป็นเหตุเริ่มต้นให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีจากความชื้น ดังนั้น เส้นใยจึงถูกกำหนดให้มีการหุ้มครั้งแรกเสียชั้นหนึ่งก่อนด้วยพลาสติก ต่อไปหุ้มทับด้วยในลอนอีกชั้นหนึ่ง ยิ่งกว่านั้นยังจัดเป็นกลุ่มรวมเข้าด้วยกันในรูปเคเบิลใยแสง ซึ่งทำให้เคเบิลมีเส้นใยแสงเป็นร้อยเส้นได้



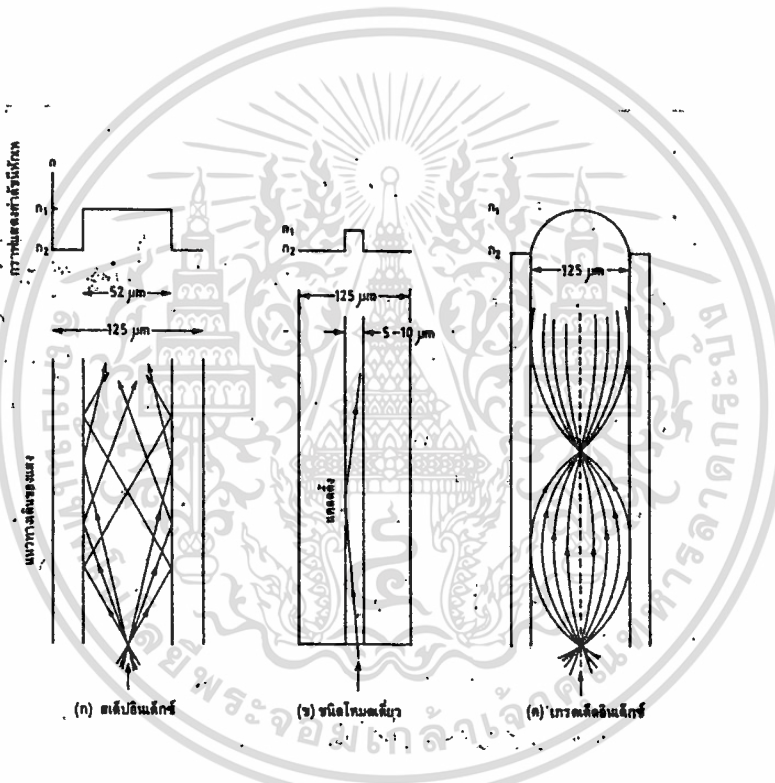
รูปที่ 4. เคเบิลใยแสงชนิด 24 เส้นใย

ปัจจุบัน ซิลิกาแก้วเป็นส่วนประกอบที่ทำให้การสูญเสียต่ำมาก โดยการทำให้ซิลิกาแก้วมีความบริสุทธิ์มากขึ้นทำให้สามารถผลิตเส้นใยแสงที่มีการลดทอนประมาณ 0.2 เดซิเบลต่อกิโลเมตร ที่ความยาวคลื่น 1.55 ไมโครเมตร ได้ ประกอบมีแบนด์วิดท์กว้างและการสูญเสียต่ำ จึงเชื่อได้ว่าเส้นใยแสงจะเป็นสายรับ-ส่งที่เหมาะสมที่สุด

ในตอนนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดที่เกี่ยวกับความยาวคลื่น 0.85 ไมโครเมตร ที่ให้การสูญเสียต่ำ ซึ่งเป็นข้อกำหนดอย่างหนึ่งที่เรียกว่า "Optical Fibre Windows" สืบเนื่องจากตัวนำแสง

เซอรัที่ประกอบด้วยแกลเลียม อลูมิเนียม อาร์เซไนด์ (GaAlAs) และซิลิคอน (Si) โฟโตนิกส์เตอร์มีความไวสูง ที่ความคลื่นในทางตรงกันข้ามเส้นใยที่มีความสูญเสียต่ำมากจะอยู่ย่านความยาวคลื่น 1.0-1.6 ไมโครเมตร การวิจัยเกี่ยวกับเลเซอร์ และตัวรับแสงความไวสูงที่กำลังทำกันอยู่ในปัจจุบันและอนาคตถือเป็นกฎสำคัญที่ต้องพัฒนาต่อไปในการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง

- สเต็ปอินเด็กซ์ (step - index) หมายถึง ไฟเบอร์ออปติกที่มีค่าดัชนีการหักเหของแสงคงที่ตลอดเนื้อสารทั้งในส่วนที่เป็นคอร์ และแคลดดิ้ง โดยปกติค่าดัชนีหักเหที่คอร์จะมีค่ามากกว่าที่แคลดดิ้ง แนวทางของแสงที่เดินทางผ่านจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงสะท้อนไปมาตรงบริเวณรอยต่อระหว่างแคลดดิ้งกับคอร์ ตามกฎของสเนลล์



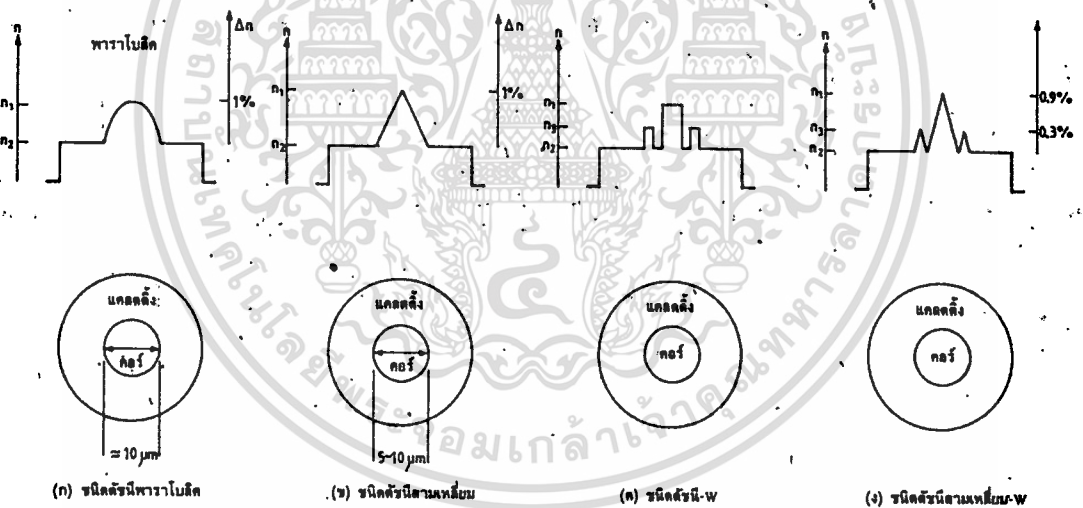
รูปที่ 5. ไฟเบอร์ออปติกชนิดต่าง ๆ ที่เป็นพื้นฐาน

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของไฟเบอร์ออปติกทั้งเส้นส่วนใหญ่มีค่าเท่ากับ 125 ไมครอน โดยขนาดของคอร์จะขึ้นอยู่กับการใช้งานว่าจะใช้สำหรับส่งข้อมูลในลักษณะโหมดรวม (multi mode) หรือโหมดเดี่ยว (single mode) การส่งข้อมูลแบบโหมดรวมหมายความว่า แสงสามารถเดินทางในไฟเบอร์ออปติกได้หลายแนวทาง ขึ้นกับมุมมองค่าที่แสงตกกระทบไฟเบอร์ออปติกขาเข้า ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์แบบโหมดรวมมีค่าประมาณ 52 ไมครอน ดังแสดงในรูปที่ 5 (ก) สำหรับไฟเบอร์ออปติกแบบโหมดเดี่ยวจะมีแนวทางเดินของข้อมูลแสงเพียงแนวเดียวเท่านั้นจึงทำให้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง

ของคอร์เล็กลงมากเหลือประมาณ 5-10 ไมครอน เท่าใช้ ดังรูปที่ 5 (ข)

- เกรดเค็ดอินเด็กซ์ (graded-index) หมายถึง ไฟเบอร์ออปติกที่ค่าดัชนีหักเหของคอร์เปลี่ยนแปลงไปตามแนวรัศมีของมัน โดยที่ตำแหน่งแนวศูนย์กลางของเส้นจะมีค่าดัชนีหักเหสูงสุด จากนั้นค่าดัชนีหักเหจะค่อย ๆ ลดลงไปตามระยะที่ห่างออกจากแนวศูนย์กลางตามลำดับ จนมีค่าเท่ากับ ค่าดัชนีหักเหของแคลคดิ่ง ในตำแหน่งที่คอร์ต่อกับแคลคดิ่งพอดี ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีหักเหของคอร์นี้ขึ้นกับสมการทางคณิตศาสตร์ที่ออกแบบเช่นเป็นลักษณะครึ่งวงกลม หรือ พาราโบลาเป็นต้น แนวทางเดินของแสงในไฟเบอร์ออปติกแบบนี้จะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งดังรูปที่ 5 (ค) ทั้งนี้เป็นผลมาจากค่าดัชนีหักเหที่เปลี่ยนแปลงไปจากแนวเส้นผ่าศูนย์กลาง

ในรูปที่ 6 แสดงถึงไฟเบอร์ออปติกประเภทอื่น ๆ ที่มีไม่ค้อยได้เห็นกันบ่อยครั้งแต่ก็เริ่มมีใช้กันแพร่หลายมากขึ้น



รูปที่ 6 ไฟเบอร์ออปติกโหมดเดี่ยวชนิดต่าง ๆ

การสูญเสียสัญญาณในไฟเบอร์ออปติก

เมื่อมีการป้อนข้อมูลที่เป็นสัญญาณแสงให้กับไฟเบอร์ออปติกในช่วงระยะทางหนึ่งสัญญาณเอาต์พุตที่ได้ย่อมมีการสูญเสียหรือผิดเพี้ยนไปบ้างเช่นเดียวกับการส่งข้อมูลด้วยสายเคเบิล ลักษณะการสูญเสียในไฟเบอร์ออปติก แบ่งออกได้ดังนี้
หรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การสูญเสียเนื่องจกั้วสัดตัวกลาง เป็นผลมาจาก การสูญเสียพลังงานภายในเนื้อสารที่ใช้ทำไฟเบอร์อปติก ในขณะที่แสงเดินทางและชนกับโมเลกุลของมีนหาคการดูดซับพลังงานในเนื้อสารมีมากจะก่อให้เกิดการสูญเสียสัญญาณมากขึ้นด้วย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางโมเลกุลและความบริสุทธิ์ของเนื้อสารที่ใช้ทำไฟเบอร์อปติก

2. การสูญเสียจากการกระเจิงของแสง เมื่อแสงเดินทางในไฟเบอร์อปติกจะเกิดการกระเจิงของแสงอันเนื่องมาจากการชนกับโมเลกุลของเนื้อสาร ทำให้เกิดการสูญเสียสัญญาณไป โดยอัตราการสูญเสียขึ้นอยู่กับโครงสร้างที่ไม่สมบูรณ์ของเนื้อสาร อีกทั้งขึ้นกับความยาวคลื่นแสงที่เดินทางในไฟเบอร์อปติกด้วย

3. การสูญเสียจากท่อนำสัญญาณ เป็นการสูญเสียอันเนื่องมาจากการจัดวางของสายไฟเบอร์อปติก ที่ทำหน้าที่เป็นท่อนำสัญญาณในลักษณะที่ไม่เป็นเส้นตรงทำให้มุมของการตกกระทบของแสงที่ผนังระหว่างคอร์กับแคลคดิ่งเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นสัญญาณเอาต์พุต ในระบบการสื่อสารชนิดโหมตร่วมจึงเกิดการผิดเพี้ยนได้ง่ายโดยมีขนาดความกว้างของสัญญาณมากขึ้นกว่าเดิม

การคิดค่ากำลังการสูญเสีย (L) ในไฟเบอร์อปติกมักกระทำในเทอมของเดซิเบล (dB) โดยการคำนวณจากสูตร

$$L_{dB} = 10 \log(P_o/P_i)$$

เมื่อ P_o คือค่าพลังงานเอาต์พุต และ P_i คือค่าพลังงานอินพุต ที่ป้อนให้กับไฟเบอร์อปติก

สมมติเราต้องการคำนวณหาลงการสูญเสียจากไฟเบอร์อปติก ที่มีขนาดความยาว 100 เมตร เมื่อป้อนสัญญาณแสงที่มีพลังงาน $P_i = 10$ W เข้าไปในสายและวัดสัญญาณขาออก $P_o = 9$ W จะได้ค่ากำลังการสูญเสียคำนวณจากสูตรได้

$$L_{dB} = 10 \log(9/10) = - 0.458 \text{ dB}$$

หรืออาจจะคิดค่ากำลังการสูญเสียต่อหนึ่งหน่วยความยาว ถิ่นำค่าความยาว 100 เมตร (0.1 กิโลเมตร) ไปหารจะได้

$L = 0.458/0.1 = -4.58 \text{ dB/km}$ นั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าผลลัพท์ที่ได้มีค่าเป็นลบ หมายความว่าค่าที่คำนวณได้ เป็นค่าการสูญเสียในตัวเอง

ค่ากำลังการสูญเสียต่ำสุดของไฟเบอร์ออปติกที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันขึ้นกับค่าความยาวคลื่นของแสงที่ใช้ในสัญญาณข้อมูล (ผลจากการกระเจิงของแสง) กล่าวคือ

ที่ความยาวคลื่นแสง 1.55 μm ค่ากำลังการสูญเสียต่ำสุด 0.2 dB/km

ที่ความยาวคลื่นแสง 1.3 μm ค่ากำลังการสูญเสียต่ำสุด 0.4 dB/km

ที่ความยาวคลื่นแสง 0.85 μm ค่ากำลังการสูญเสียต่ำสุด 2.0 dB/km

- ระบบเส้นใยแสง

แรกเริ่มการนำเทคโนโลยีของเส้นใยแสงมาใช้ มีจุดประสงค์เพื่อการเชื่อมโยงระบบโทรคมนาคมแบบดิจิทัลระหว่างจุดต่อจุด การเชื่อมโยงที่กำเนิดขึ้นครั้งแรก ส่วนใหญ่ได้ออกแบบสำหรับขนาดบิตจาก 2-50 mb/s อุปกรณ์ไฟฟ้าแสงที่ใช้ในระบบเหล่านี้ทำงานในย่านความยาวคลื่น 810-890 นาโนเมตร ซึ่งการสูญเสียจากการส่งผ่านเคเบิลใยแสงมีค่าที่กำหนดให้ 4-6 เดซิเบลต่อกิโลเมตร หลังจากการวางและต่อเคเบิลเข้าด้วยกันแล้ว ทำให้ได้ระยะทางระหว่างเทอร์มินอล 5-10 กิโลเมตร โดยไม่ต้องมีสถานีทวนสัญญาณ ซึ่งทำให้ไม่ต้องใช้บ่อน้ำสำหรับสถานีทวนสัญญาณในพื้นที่ที่มีชุมชนหนาแน่นและทำให้ลดจำนวนของสถานีทวนสัญญาณในโครงข่ายโทรคมนาคมในนครหลวงให้ไกลออกไปได้อีก ในยุคที่สองระบบการทำงานที่ความยาวคลื่น 1.3 ไมโครเมตร ซึ่งการสูญเสียจากการส่งผ่านเคเบิลใยแสงประมาณ 0.5 เดซิเบลต่อกิโลเมตร ซึ่งสามารถขยายการส่งสัญญาณให้ไกลออกไปได้อีก โดยไม่ต้องใช้สถานีทวนสัญญาณ

นอกจากการใช้งานด้านโทรคมนาคมแล้วก็ได้มีการติดตั้งเชื่อมโยงเส้นใยแสงในโรงงานไฟฟ้ากำลัง การเชื่อมโยงเหล่านี้ใช้เพื่อการส่งข่าวสารสำหรับระบบการป้องกัน การอำนวยความสะดวก ซึ่งมีความสำคัญที่สุดในโรงงานไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่และประกอบด้วยเครื่องมือทันสมัย ข่าวสารดังกล่าวนี้จะถูกส่งโดยระบบการสื่อสารไมโครเวฟธรรมชาติร่วมกันกับสายส่งกำลังต่างๆ และกับระบบการสื่อสาร อย่างไรก็ตามในเมืองใหญ่ ๆ สิ่งรบกวนที่เกิดจากการวางโครงข่ายสายไปฟ้าแรงสูงขนาด 275 กิโลโวลท์ ระบบการสื่อสารด้วยไมโครเวฟ ที่มีคุณภาพสูง ไม่สามารถที่จะดำเนินการด้วยความมั่นใจได้ อาคารสูงๆ ก็เป็นอุปสรรคสำหรับการส่งสัญญาณไมโครเวฟ ด้วยเส้นใยแสงที่ภูมิคุ้มกันต่อการเหนี่ยวนำสิ่งรบกวน ทำให้มีการส่งข้อมูลที่มีความจุสูง ๆ ได้ ด้วยเหตุนี้จึงเป็นอีกระบบหนึ่งของการสื่อสารที่ดี

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเส้นใยแสงขยายเข้าไปในชุมสายวงจรผู้เช่า นี่เป็นส่วนหนึ่งของโครงข่ายโทรคมนาคม ที่เชื่อมต่อกับเครื่องปลายทางของผู้เช่าที่ตั้งอยู่ใกล้กับชุมสายกลาง สื่อนำการส่งที่ใช้กันอยู่ในโครงข่ายนี้คือ สายคู่ไขว้ทองแดง สายคู่ไขว้ทองแดงเหล่านี้ได้มีการปรับปรุงเป็นอย่างดี อายุการใช้งานและการลงทุนสำหรับการใช้งานอย่างคุ้มค่าเป็นเวลามากหลายสิบปี เพื่อส่งสัญญาณเสียงค่าพูด อย่างไรก็ตามก็ควมยังไม่เพียงพอสำหรับความต้องการที่เพิ่มขึ้นอย่างอึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

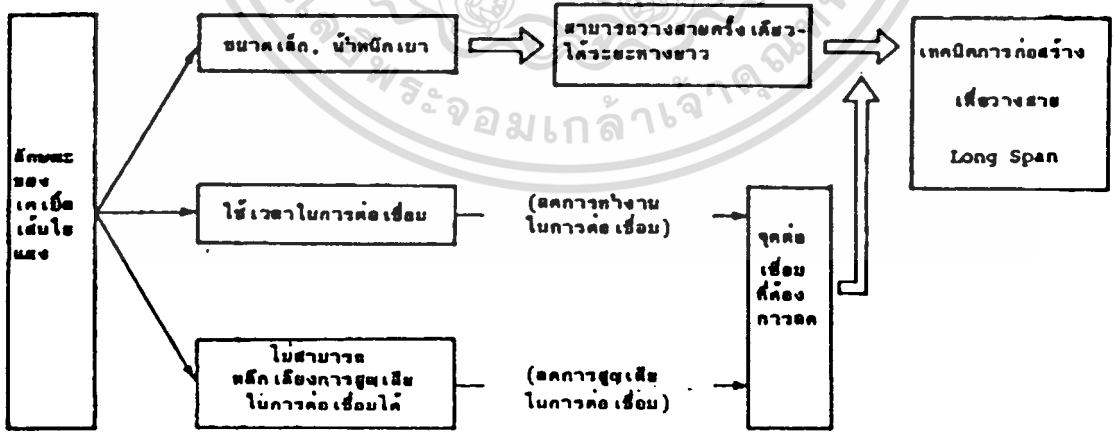
เมื่อสิ่งกัน แสงไฟ นี้เป็นอย่างมากที่จะนำไปสู่การระยุกต์ ใช้เทคโนโลยีเส้นใยแสงกับวงจรผู้
 เข้าจ กลุ่มสายทองที่แก้กับที่อยู่อาศัยหรือสำนักงาน ในทางตรงกันข้าม สายคู่ไขว้ทองแดงเส้นใยแสงให้
 การลดกอนต์เ. ส่งข้อมูลใ้จำนวนมาก, มิมีคัมกับเผื่อการฟ้าผ่าและการรบกวนจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า
 มิมีการรบกวนระหว่างเส้นใยและไม่ขึ้นอยู่กัปัญหาความกัจจริง ๆ ซึ่งไม่จาเป็นต้องมึวงจรอีควอไลซ์ ซึ่ง
 ตรงข้ามกับสายคู่ไขว้ทองแดง โดยการนำลักษณะเด่น ๆ เหล่านี้มาใช้ เส้นใยแสงสำหรับวงจรผู้เข้าจะ
 ต้องออกแบบไว้ล่วงหน้าทั้งในปัจจุบันและอนาคต สำหรับความต้องการการบริการหลาย ๆ อย่างที่เพิ่ม
 มากขึ้น

การสร้างระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสงและการบำรุงรักษา

การวางแผนเปิดเส้นใยแสง

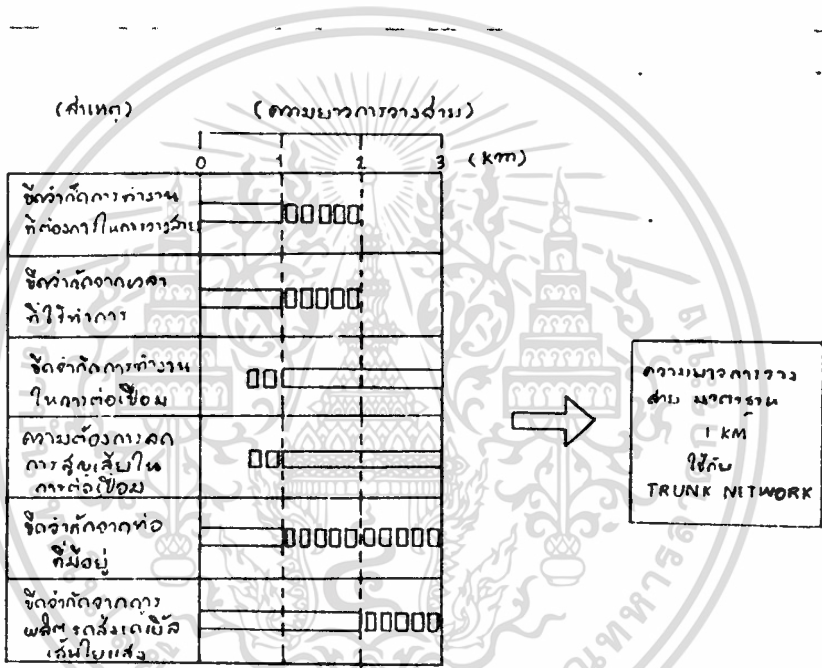
- การวางแผนเปิดเส้นใยแสงแบบช่วงระยะยาว (Long span)

เคเบิลเส้นใยแสงในกรณีที่วางในท่อ (duct) ที่จะทำเอาไว้ได้ทนกับกรณีที่ชนกับเสาไฟ
 ฟ้า เคเบิลเส้นใยแสงที่ใช้กับ Trunk network เพื่อต่อระหว่างชุมสายโทรศัพท์นั้น ตามหลักการณ์แล้วจะ
 ใช้วิธีการวางแผนเปิดเส้นใยแสงในท่อ เทคนิคการวางสายเคเบิลเป็นสิ่งที่ส่วนใหญ่มีแนวความคิดเบื้องต้น
 เหมือนกันกับเทคนิคการวางสายเคเบิล ที่ทำด้วยโลหะที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน แต่มีบางอย่างที่พัฒนาให้เป็น
 ลักษณะพิเศษของเคเบิลเส้นใยแสงดังแสดงในรูปที่ 7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ที่รูปที่ 7 ทั้งลักษณะพิเศษของเทคนิคการสร้างเคเบิลเส้นใยแสงสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

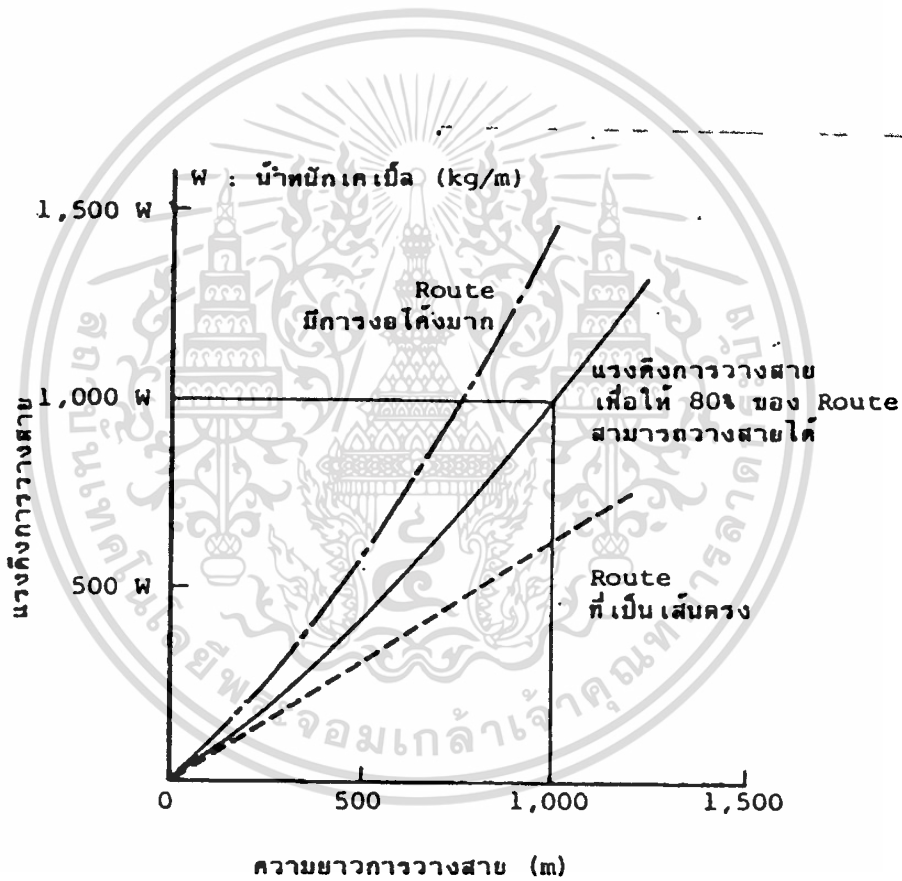
นี่คือทำให้เคเบิลเส้นใยแสงมีเส้นผ่าศูนย์กลางเล็ก, น้ำหนักเบา, เป็นผลให้สามารถวางสายแต่ละครั้งได้เป็นระยะทางที่ยาวมาก (Long span) อนึ่ง งานการต่อเชื่อมเคเบิลเส้นใยแสงเมื่อเทียบกับเคเบิลที่ทากด้วยโลหะแล้วจะใช้เวลาในการปฏิบัติงานมากกว่า นอกจากนั้นเนื่องจากว่าไม่สามารถหลีกเลี่ยงการเพิ่มขึ้นของการสูญเสียจากการเชื่อมต่อที่เกิดขึ้นตรงจุดเชื่อมต่อเส้นใยแสงได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องพยายามทำให้จำนวนของจุดเชื่อมต่อมีน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ ด้วยเหตุนี้จึงมุ่งไปที่เทคนิคที่ทำให้สามารถวางเคเบิลเส้นใยแสง 1 ครั้งได้เป็นระยะทางยาวมาก(Long span) เงื่อนไขข้อจำกัดที่จะต้องคำนึงถึงถึงในการกำหนดความยาวการวางเคเบิลเส้นใยแสง ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8: เงื่อนไขข้อจำกัดในการกำหนดความยาวการวางเคเบิลเส้นใยแสง

จากรูปที่ 8 จะเห็นได้ว่าสามเหตุข้อจำกัดส่วนใหญ่คือ จำนวนคนงานที่ต้องการในการวางสายเคเบิลหนึ่งครั้งและเวลาการใช้ถนนในระหว่างช่วงปฏิบัติงาน ดังนั้นสำหรับ NTT ได้กำหนดความยาวมาตรฐานการวางสายเคเบิลสำหรับสายส่งที่ใช้เป็น Trunk network ระหว่างชุมสายให้มีความยาวเป็น 1 กิโลเมตร โดยคำนึงถึงการทำให้การออกแบบงานไม่ยุ่งยากซับซ้อน อนึ่งจะมีกรณีสภาพแวดล้อมการทำงานการวางสายที่อำนวยความสะดวกทุกอย่างได้แก่ การวางสายในเส้นทาง (Route) ที่เป็นเส้นตรงกับกรณีที่ต้องการวางสายยาวเกินกว่า 1 กิโลเมตร เนื่องจากมีความยุ่งยากในการเชื่อมต่อระหว่างทางได้แก่ช่วงสะพานข้ามคลอง, แม่น้ำ อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อที่จะทำให้สามารถวางเคเบิลที่มีช่วงยาว 1 กิโลเมตร ได้นี้ๆ จำเป็นต้องทำให้เคเบิลมีความแข็งแรงพอที่จะทนต่อแรงดึงในการวางสายเคเบิลที่กระทำต่อเคเบิลขณะปฏิบัติงานได้ แรงดึงในการวางสายเคเบิลนี้จะมีค่าน้อย ถ้าหากเส้นทาง (Route) มีส่วนที่เป็นเส้นตรงมาก และจะมีค่ามากถ้าหากเส้นทาง (Route) มีส่วนโค้งงอมาก การทำให้เคเบิลเส้นใยแสงมีความแข็งแรงต่อการดึงที่ทำให้สามารถวางสายเคเบิลได้ช่วงยาว 1 กิโลเมตร ในเส้นทางทุกแบบ (เป็นเส้นตรงมาก, มีความโค้งมาก) นี้จะกลายเป็นการออกแบบที่มากเกินไปซึ่งไม่เป็นการประหยัด ดังนั้นในการออกแบบโครงสร้างของเคเบิลจะถือเอาแรงดึงที่สามารถวางสายเคเบิลระยะทาง 1 กิโลเมตร ในช่วงประมาณ 80 % ของเส้นทาง (ตรงกับน้ำหนักของเคเบิลที่ยาว 1 กิโลเมตร) เป็นแรงที่ขอมให้มีได้ ดังแสดงในรูปที่ 9

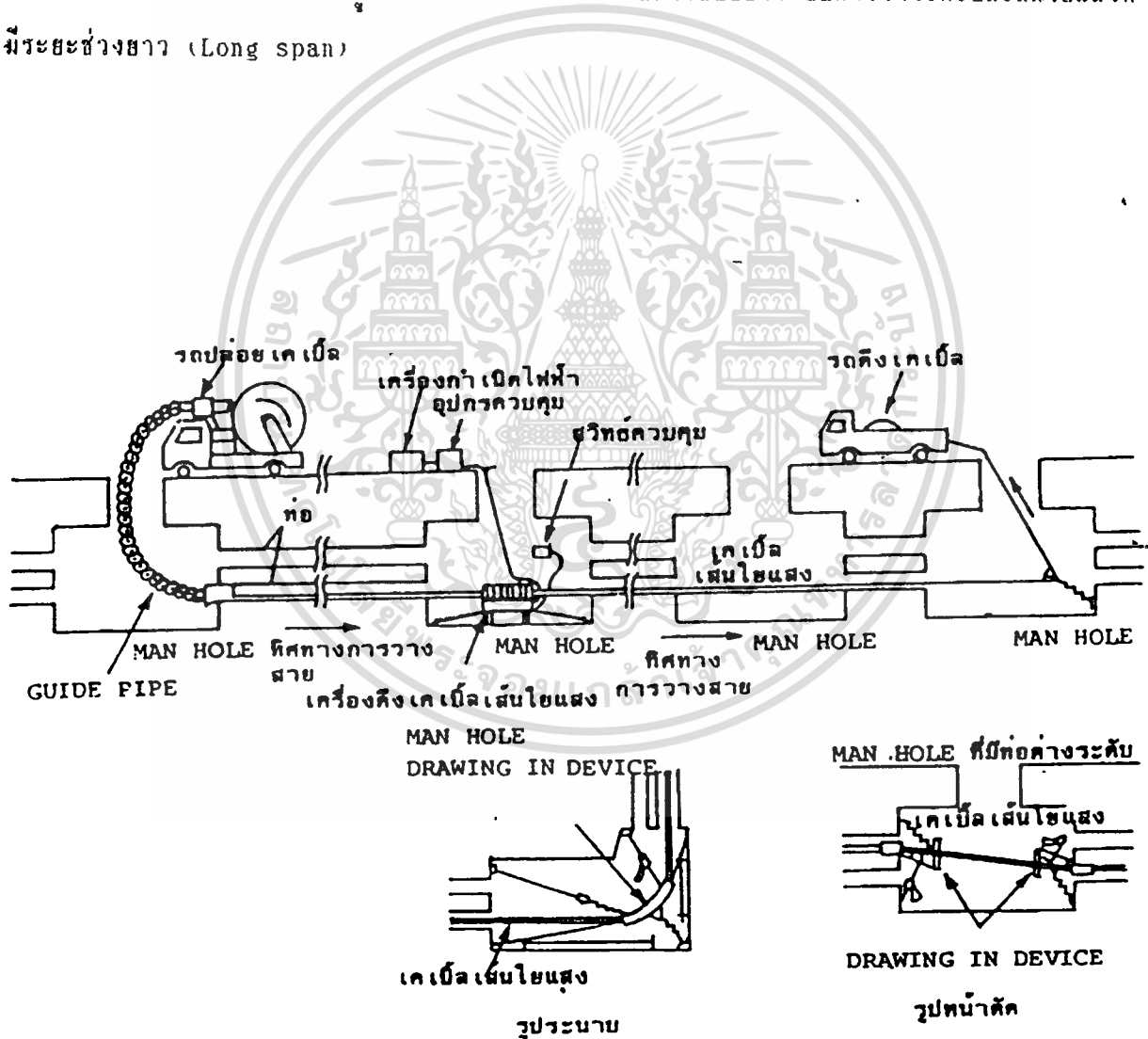


รูปที่ 9 แสดงความยาวการวางสายกับแรงดึงในการวางสายของเคเบิลเส้นใยแสง

หรืออาจกล่าวอีกอย่างหนึ่งก็คือ จะต้องทำการออกแบบโครงสร้างของ Tension member

(ตัวต้านแรงดึง) ให้มีการยืดต่ำกว่า 0.2% เมื่อได้รับแรงดึงนี้ (ถ้าการยืดมีค่าอยู่ในช่วงนี้แล้วจะไม่ทำ
ให้เกิดผลเสียหายแก่เส้นใยแสงโดยตรง) ปล่อยให้สำหรับกรณีที่เส้นทาง (Route) ของเคเบิลมีความ

โค้งงอมาก และมีรูปร่างสลับซับซ้อนนั้น แรงดึงที่ทำให้จะกระจายต่อปลายของเคเบิลนั้น กรณีนี้แรงดึงอาจเกิดแรงดึงที่ยอมให้มีได้ของเคเบิล (ในช่วงประมาณ 20 % ของเส้นทางการทั้งหมด) ดังนั้นจึงต้องใช้วิธีติดตั้งเครื่องดึงเคเบิล (Cable tractor) ระหว่างทางหรือวิธีอื่น ๆ เข้าช่วยด้วย อนึ่งสำหรับข่ายสายผู้ใช้ (Subscriber network) ที่ต่อระหว่างบ้านและที่ทำงานนั้นโดยทั่วไปจะใช้วิธีค้อย ๆ ลดจำนวนเส้นใยแสงของเคเบิลตามระยะทางที่เพิ่มขึ้นจากชุมสายโทรศัพท์ เพื่อให้เหมาะกับการกระจายบริการต่าง ๆ ที่ต้องการ ด้วยเหตุนี้ทำให้ Subscriber network แตกต่างกับกรณีของ Trunk network และเนื่องจากเกิดความจำเป็นที่ต้องตั้งจุดต่อที่ระยะสั้นมากทำให้ความยาวการวางสายเคเบิลเส้นใยแสงมีค่าน้อย แรงดึงที่ยอมให้มีได้ในเคเบิลเส้นใยแสงตามสภาพเช่นนี้จะใช้ค่าที่ตรงกับน้ำหนักเคเบิลที่ยาวเพียง 800 เมตร รูปที่ 10 แสดงวิธีการโดยสังเขปของระบบการวางเคเบิลเส้นใยแสงที่มีระยะช่วงยาว (Long span)



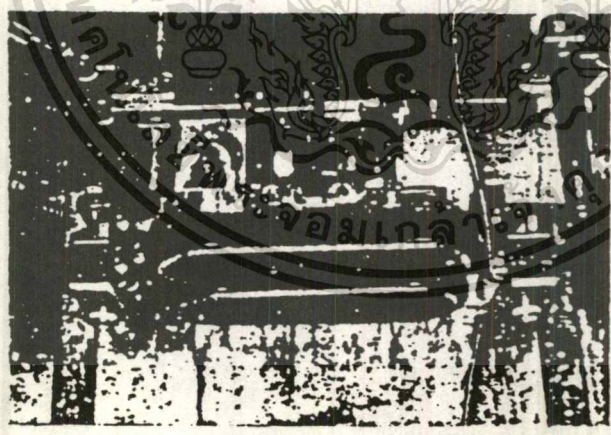
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 10 ระบบการวางสายเคเบิลเส้นใยแสงที่มีระยะช่วงยาว (Long span)

สำหรับรูปที่ 11 แสดงสภาพขณะปฏิบัติงานการวางสายจริงๆ นอกจากการวางสายเคเบิล
 เส้นใยแสงให้หน้านี้ จะทำการวางสายโดยเรือแบบพิเศษที่สร้างขึ้นมา เพื่องานการวางสายเคเบิลใต้น้ำ
 โดยเฉพาะ ดังแสดงในรูปที่ 12 กรณีทำการวางสายเคเบิลใต้น้ำถ้าเป็นทะเลตื้นเพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้
 เคเบิลได้รับอันตรายจากการจับปลา (ประมง), การทอดสมอของเรือและอื่น ๆ จะใช้วิธีฝังสายเคเบิล
 เอาไว้ใต้ทราย



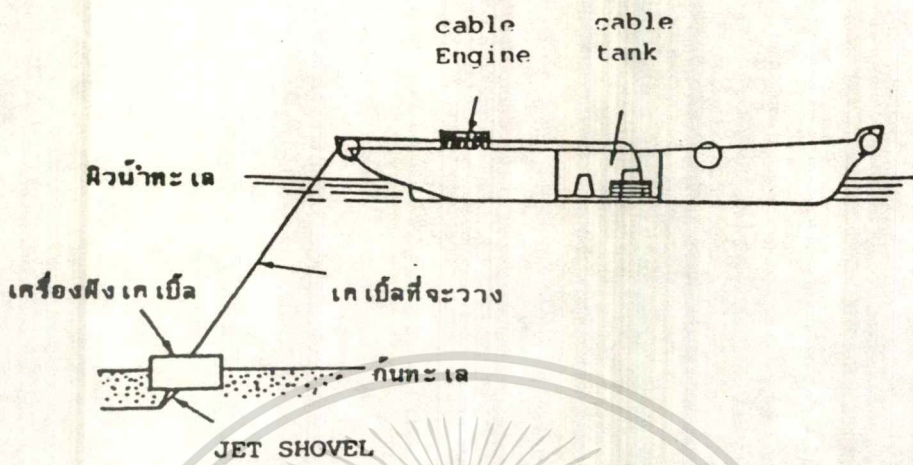
(a) แสดงสภาพการวางสายใต้น้ำ



(b) แสดงเครื่องช่วยดึงสาย

รูปที่ 11 งานวางสายเคเบิลใต้น้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) แสดงการวาง Optical Fiber cable ด้วยเรือวางเคเบิลใต้น้ำ



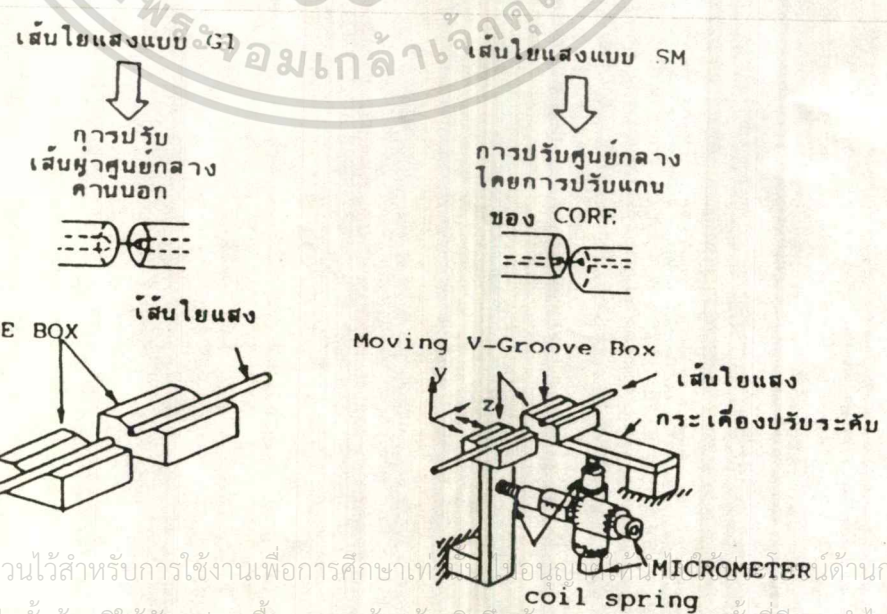
(b) แสดงเรือวางเคเบิลใต้น้ำขณะกำลังปฏิบัติงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งรูปที่ 12 ซึ่งหักกรว้างสอยเคเบิลเส้นใยแสงใต้น้ำถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ระบบการต่อเชื่อมเส้นใยแสง

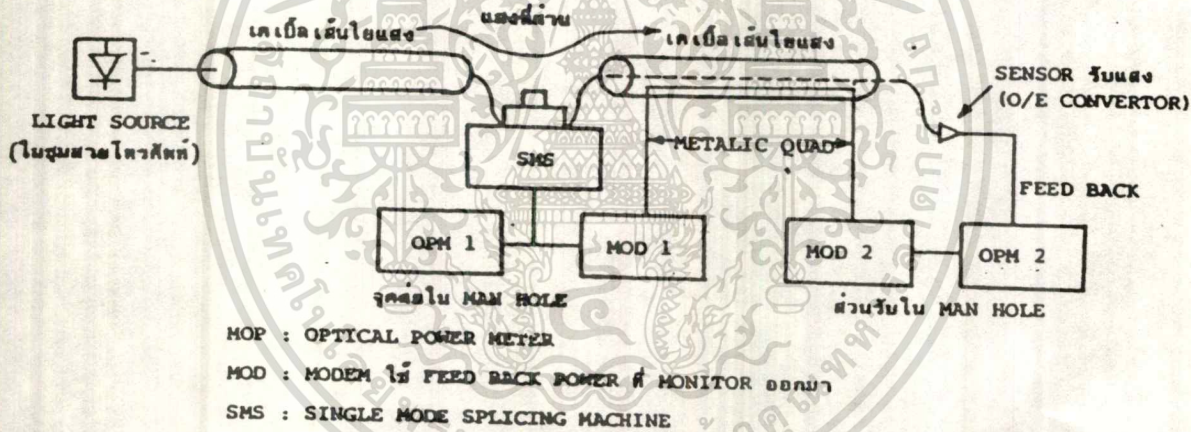
ในการต่อเชื่อมเส้นใยแสงนี้มี 2 วิธีคือ การต่อเชื่อมแบบใช้เปลวไฟหลอม (Electric arc fusion) กับแบบใช้ (connector) แต่ในที่นี้จะพูดถึงระบบการต่อเชื่อมแบบใช้เปลวไฟหลอมที่ใช้กันมากในงานการสร้างระบบจริง

เส้นใยแสงแบบ GI-type เนื่องจากเส้นผ่าศูนย์กลางของ core ของมันโตมากขนาด 10 ไมโครเมตร (ตามคำแนะนำของ CCITT มีค่า 50 ไมโครเมตร) แม้จะคำนึงถึงเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของจุดศูนย์กลางในขั้นตอนการผลิตที่มีค่าประมาณ 6 % ซึ่งเป็นกรณีที่เลวที่สุดก็ตาม แต่ถ้าเพียงแต่ปรับเฉพาะเส้นผ่าศูนย์กลางของ Clad เท่านั้น การเพิ่มขึ้นของการสูญเสียของการต่อเชื่อมอันเนื่องมาจากความคลาดเคลื่อนตามแนวแกนของ Core ส่วนใหญ่จะมีค่าที่ไม่เป็นปัญหาแต่อย่างใดในการใช้งาน ดังนั้นการต่อเชื่อมแบบใช้เปลวไฟหลอมของเส้นใยแสงแบบ GI-type จะใช้วิธีการต่อโดยนำเอาเส้นใยแสงที่ปอกเอาวัสดุหุ้มภายนอกออกแล้ววางลงในร่องรูปตัว V (V-groove) ซึ่งมีแนวแกนตั้งอยู่ในแนวตรงกันจากนั้นจึงทำการปรับเฉพาะเส้นผ่าศูนย์กลางของ Clad ให้ชนตรงกับส่วนเส้นใยแสงแบบ SM-type เนื่องจากมีเส้นผ่าศูนย์กลางของ Core เล็กมากขนาด 10 ไมโครเมตร ดังนั้นการปรับเฉพาะเส้นผ่าศูนย์กลางของ Clad อย่างเดียวมัน เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของจุดศูนย์กลางที่ยอมรับได้² ในขั้นตอนการผลิตจะมีผลอย่างมากต่อการเพิ่มขึ้นของการสูญเสียของการเชื่อมต่อ จึงใช้เป็นระบบการเชื่อมต่อในทางปฏิบัติไม่ได้ ดังนั้นสำหรับการต่อเชื่อมเส้นใยแสงแบบ GI-type จะใช้อุปกรณ์ช่วยปรับเส้นผ่าศูนย์กลางของ Clad (V-groove) เท่านั้น แต่ส่วนเส้นใยแสงแบบ SM-type จะใช้อุปกรณ์ต่อเชื่อมที่มากกว่างานเพื่อปรับแกนของเส้นใยแสงให้ตรงกันได้ (นั่นคือการทำงานปรับร่องรูปตัว V ให้คลาดเคลื่อนไปในทิศทางแนวแกน x และแกน y ได้ โดยการควบคุมของ Microprocessor ดังแสดงในรูปที่ 13 สำหรับการปรับแกนแบบ 2 แบบดังต่อไปนี้

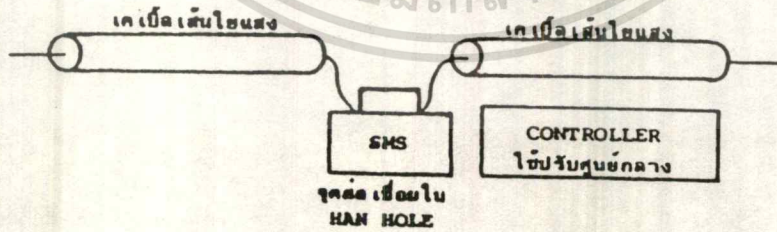


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
รูปที่ 13 การปรับแนวแกนของเส้นใยแสงแบบ GI-type และแบบ SM-type

ระบบการต่อเชื่อมเส้นใยแสงที่ใช้วิธี Power monitor method เป็นระบบที่ตรวจวัดกำลังแสงโดยตรงที่ส่วนล่างของจุดต่อเชื่อม ดังแสดงในรูปที่ 14 (a) แล้วทำการปรับแนวแกนของ Core ให้ตรงกันอย่างอัตโนมัติงานการต่อเชื่อมวิธีนี้จะต้องมีอุปกรณ์ทำงาน 3 จุดด้วยกันคือ ที่แหล่งกำเนิดแสง, ส่วนต่อเชื่อมและส่วนรับแสง สำหรับระบบการต่อเชื่อมที่ใช้เส้นใยแสงโดยวิธี Core viewing method แสดงดังรูปที่ 14 (b) สามารถปฏิบัติงานการต่อเชื่อมเพียงจุดเดียวคือตรงจุดที่จะกระทำการต่อเชื่อมเท่านั้นทำให้สามารถลดจำนวนคนปฏิบัติงานได้แต่เนื่องจากการต่อเชื่อมที่ใช้วิธี Core viewing method ต่างกับวิธี power monitor method กล่าวคือไม่สามารถได้ค่าการสูญเสียที่แท้จริงของการต่อเชื่อมจากที่ทำการต่อเชื่อมได้ (ดูรูป 14 (b) ประกอบ) จึงใช้วิธีคาดคะเนการสูญเสียของการต่อเชื่อมจากสภาพของ Core ที่ถูกต่อเชื่อมอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการต่อเชื่อมเส้นใยแสงด้วยวิธี Core viewing method และภาพของด้านปลายของเส้นใยแสงที่ปรากฏบนจอสโคป ดังรูป

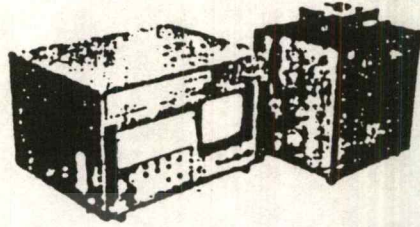


(a) POWER MONITOR METHOD

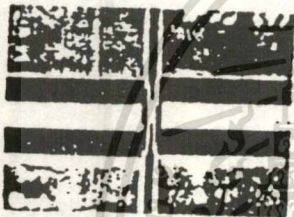


(b) CORE DIRECT VIEWING METHOD

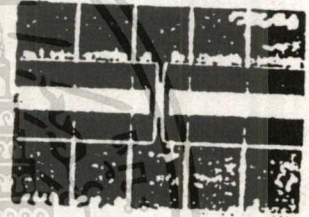
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งรูปที่ 14 หารบบการต่อเชื่อมเส้นใยแสงแบบ SM-type เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) ลักษณะคานนอกของเครื่องเชื่อมเส้นใยแสง



① ตรวจสอบความสมบูรณ์หน้าตัด



② ปรับศูนย์กลางของ CORE AXIS



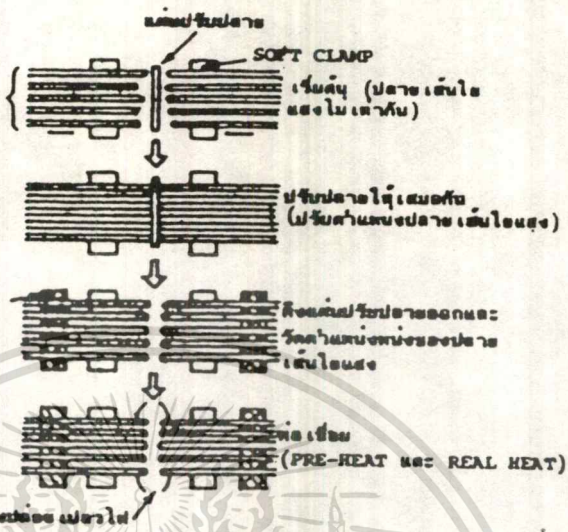
③ แสดงเปลวไฟและการหลอมติด



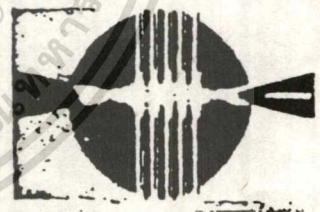
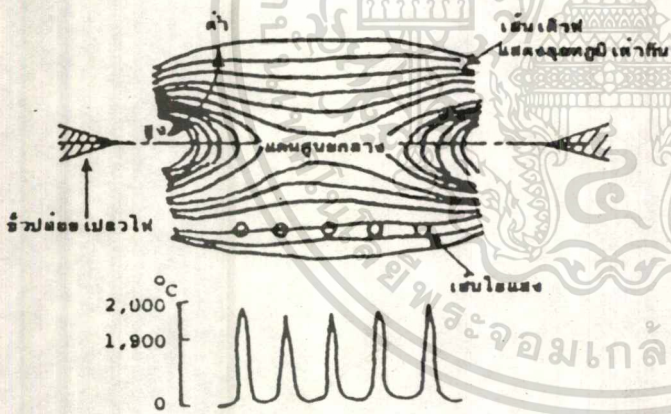
④ แสดงค่าสูญเสียประมาณหลังเชื่อม

(b) แสดงภาพ MONITOR ของปลายเส้นใยแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้นที่ 15 หน้า แสดงข้อมูลการต่อเชื่อมที่ใช้วิธี Core viewing method



(a) ลำดับการเชื่อมเส้นใยแสงแบบเทป 5 เส้น



(b) ตำแหน่งที่เหมาะสมของเส้นใยแสงเพื่อการกระจายอุณหภูมิของเปลวไฟและการให้ความร้อนสม่ำเสมอ

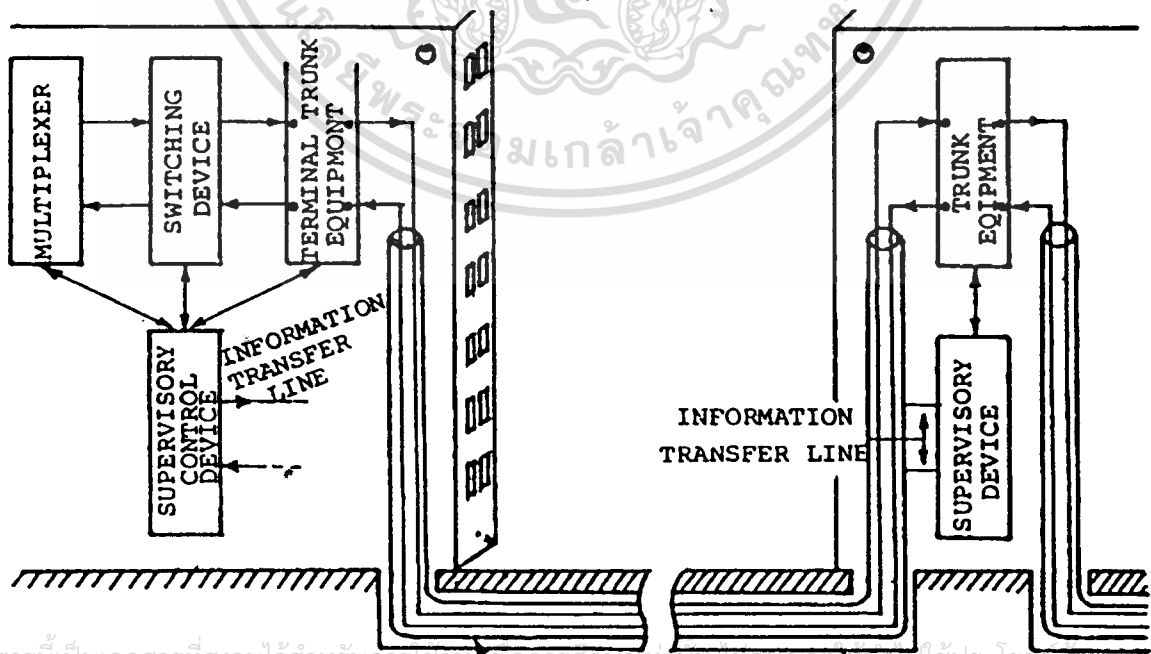
(c) แสดงช่วงเวลาการเชื่อมเส้นใยแสงหลายเส้นพร้อมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 16 ว่าด้วยการต่อเชื่อมเส้นใยแสงแบบ Tape มีงัดนำเอาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ในภาคต่อของสายใยแก้ว (fiber-type) ก็สามารถใช้สำหรับเคเบิลของสายสายผู้ใช้ (subscriber network) ที่มีความต้องการมากจะใช้เคเบิลแบบ Tape ที่รวมเส้นใยแสง 5 เส้นเข้าด้วยกัน แล้วหุ้มด้วยวัสดุหุ้มชั้นที่ 2 (Secondary cover) กรณีที่ทำการเชื่อมต่อเส้นใยแสงแบบ Tape 5 เส้นนี้จำเป็นต้องทำการต่อเชื่อมพร้อมกันโดยจัดให้ส่วนปลายของเส้นใยแสงทั้ง 5 เส้นยาวเท่ากันทั้งหมด และสภาพการให้ความร้อนโดย Arc discharge นั้นจำเป็นต้องสม่ำเสมอทั้ง 5 เส้นด้วย เหตุนี้จึงต้องใช้เครื่องต่อเชื่อมที่จัดทำพิเศษซึ่งมีขั้นตอนการทำงานดังแสดงในรูปที่ 16 กล่าวคือ รูป 16 (a) เป็นการดันให้ปลายของเส้นใยแสงทุกเส้นและกับแผ่นปรับปลายเส้นใยแสง ชั้นตอนนี้เป็น การปรับตำแหน่งของปลายเส้นใยแสงทุกเส้นให้เข้ากันหมด รูป 16 (b) แสดงการกระจายอุณหภูมิของสภาพที่กำลังปล่อยประจุไฟฟ้า (discharge) ในการทำงานที่จะทำให้การให้ความร้อนแก่เส้นใยแสงทั้ง 5 เส้นเป็นไปอย่างสม่ำเสมอจะต้องจัดวางเทพของเส้นใยแสง ในตำแหน่งที่อยู่ห่างจากแกนศูนย์กลาง ของขั้วไฟฟ้า (electrode) เล็กน้อย ส่วนรูปที่ 16 (c) แสดงเปลวไฟในขณะที่ทำการเชื่อมเส้นใยแสงพร้อมกันหลาย ๆ เส้น

การบำรุงรักษาพื้นฐานของสายสายการสื่อสารไฟฟ้าได้แก่ ความมั่นคงในการทำงานให้บริ การที่ต่อเนื่องกันและเมื่อเกิดการขัดข้องจะต้องแก้ไขให้กลับคืนดีในเวลาทีรวดเร็ว แนวความคิด เหล่านี้ไม่ใช่สิ่งแตกต่างกันตามชนิดของระบบการสื่อสาร ดังนั้นในระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสงก็ เหมือนกัน

จากรูปที่ 17 จะเห็นว่าเพื่อให้ได้การบำรุงรักษาพื้นฐาน 2 อย่าง ไม่เฉพาะตรวจสอบสภาพการทำงาน ของสายที่จุดเข้าออกของอุปกรณ์เท่านั้นแต่ต้องทำการตรวจสอบตัวอุปกรณ์เองด้วย เช่น การขัดข้องของแหล่งจ่ายไฟ เป็นต้น โดยทำการตรวจสอบแบบ on line



รูปที่ 17 ตัวอย่างส่วนประกอบของระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง

สิ่งที่เป็นลักษณะพิเศษที่สุดในการบำรุงรักษาระบบการสื่อสารเส้นใยแสงคือ ความสมบูรณ์ของการตรวจสอบใน Repeater equipment และการแสดงตำแหน่งที่เกิดการขัดข้องขึ้นได้อย่างอัตโนมัติ นั่นคือในระบบการสื่อสารแบบเก่าที่ใช้ยู่งจนถึงทุกวันนี้ เนื่องจากระยะห่างของ Repeater มีค่าประมาณ 1-2 กิโลเมตร ดังนั้นโดยทั่วไปแล้ว Repeater equipment ออกไปไกลมากจึงทำให้สามารถติดตั้ง Repeater ภายในชุมสายโทรศัพท์ได้ ผลก็คือแต่เดิมที่ Repeater equipment ซึ่งมีขีดจำกัดในการตรวจสอบอันเนื่องมาจากโครงสร้างของอุปกรณ์ตามขนาดของ mathold ส่วนประกอบและความยุ่งยากในการรักษาสายส่งที่ใช้ส่งข่าวสารแจ้งการขัดข้องและอื่น ๆ นั้น สามารถทำการตรวจสอบได้เหมือนกันกับการตรวจสอบที่ Terminal repeater equipment

ดังนั้นในระบบการสื่อสารเดิมที่ใช้กันอยู่ เมื่อเกิดขัดข้องที่ Terminal repeater equipment จะโอนสายทั้งหมดที่ตรวจพบการขัดข้องไปยังระบบอื่น ที่เป็นปกติอย่างอัตโนมัติ จากนั้นจะส่งสัญญาณค้นหาจุดขัดข้องช่วงระยะจาก Terminal repeater equipment และแสดงช่วงระยะที่ขัดข้องแต่ทว่าในระบบการสื่อสารเส้นใยแสงนั้นจะสามารถแสดงช่วงระยะที่ขัดข้องได้อย่างอัตโนมัติดังต่อไปนี้

สมมติว่าระบบเกิดขัดข้องเนื่องจากเคเบิลขาด, สัญญาณ information ที่แจ้งการขัดข้องซึ่งตรวจพบได้ด้วยอุปกรณ์ จะส่งผ่านอุปกรณ์ตรวจสอบที่อยู่ในชุมสายเดียวกันแล้วส่งไปยังอุปกรณ์ตรวจสอบและควบคุมโดยสายที่ใช้สำหรับการถ่ายทอดข่าวสาร (Information transfer line) ที่อุปกรณ์ตรวจสอบและควบคุม (Monitor and control equipment) จะทำการรวบรวมข่าวสารจากอุปกรณ์ต่าง ๆ แล้วทำการวิเคราะห์หาตำแหน่งที่ขัดข้องกล่าวโดยสรุปก็คือจากข่าวสารแจ้งการขัดข้องจะนำมาแสดงช่วงระยะที่ขัดข้องและระบบที่ขัดข้องได้อย่างอัตโนมัติ จากผลนี้เมื่อเทียบกับระบบเดิมที่ใช้ยู่งจะเห็นได้ว่าผลถูกต้องแน่นอนกว่า นอกจากนั้นยังสามารถแสดงตำแหน่งที่ขัดข้องได้รวดเร็วมาก หนึ่งในรูปที่ 17 จะเห็นว่าระหว่างอุปกรณ์ Convertor กับ Terminal repeater equipment จะมีอุปกรณ์ Switching equipment ติดตั้งอยู่ อุปกรณ์ Switching equipment นี้จะทำหน้าที่สับเปลี่ยนระบบที่ขัดข้องไปยังระบบที่ปกติอัตโนมัติเมื่อเวลาเกิดเหตุขัดข้องขึ้นมาในระบบ

การบำรุงรักษาเคเบิลเส้นใยแสง

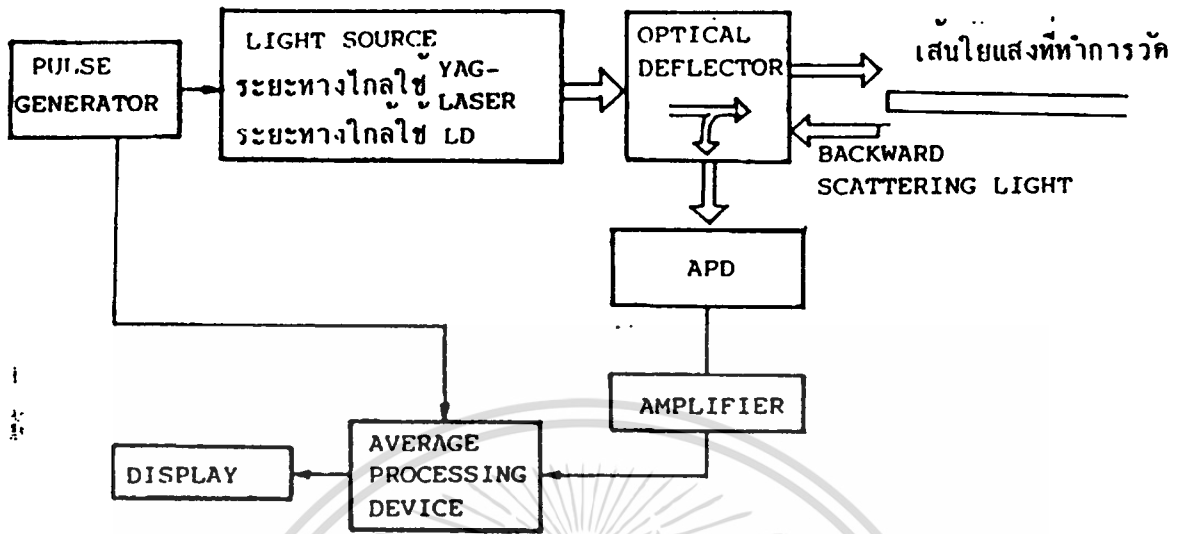
ในการบำรุงรักษาเคเบิลเส้นใยแสงก็เช่นเดียวกัน โดยหลักการพื้นฐานแล้วจะเหมือนกับการบำรุงรักษาของเคเบิลโลหะ กล่าวคือสายส่งจะต้องดี พร้อมทั้งมีความมั่นคงในการทำงานต่อเนื่องกัน และในกรณีที่เกิดการขัดข้องอย่างใดอย่างหนึ่ง จะต้องหาสาเหตุให้พบอย่างรวดเร็วและแก้ไขให้กลับคืนเหมือนเดิมในเวลาทีรวดเร็วเนื่องจากเส้นใยแสงมีจุดอ่อนอยู่ 2 อย่างที่ควรหลีกเลี่ยงคือแรงที่มากกระทำด้านข้างและการข้อยู่ในน้ำ เป็นเวลานาน ใช้นี้จึงจำเป็นต้องระมัดระวังป้องกันจุดอ่อนเหล่านี้ การป้องกันไม่ให้น้ำเข้าไปในเคเบิลเส้นใยแสงก็คือระบบการป้องกันอากาศแห้งที่มีแรงดันสูงกว่าบรรยากาศเข้า

เข้าไปในเคเบิลเส้นใยแสง (Gas maintenance system) ก็ในระบบที่มีสารประกอบ (Compound) เข้า
 ไปในเคเบิล (Non-Gas maintenance system) ระบบ Gas maintenance system นี้
 โครงสร้างของเคเบิลไม่ยุ่งยากแต่ต้องการอุปกรณ์ที่จะป้องกันอากาศแห้งเข้าไปในเคเบิล ส่วนระบบ Non-
 Gas maintenance system นี้ไม่ต้องการอุปกรณ์ที่จะป้องกันอากาศแห้งเข้าไปในเคเบิลแต่ตรงกันข้ามมี
 โครงสร้างซับซ้อนและมีราคาสูง นอกจากนี้เวลาทำการเชื่อมต่อจำเป็นต้องเอาสารประกอบ
 (Compound) ออก

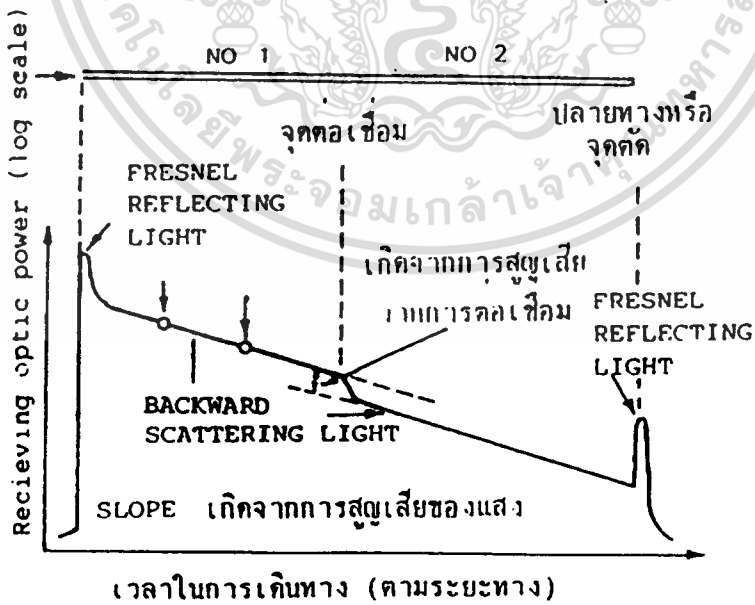
ในระบบ Gas maintenance system สามารถหาตำแหน่งที่แก๊สรั่วได้โดยการวัด
 การกระจายของแก๊สไปตามความยาวของเคเบิล ดังนั้นจึงมีข้อที่สามารถรู้ถึงการชำรุดของวัสดุหุ้ม
 ภายนอกก่อนที่เคเบิลจะขัดข้อง ข้อดีนี้เรียกว่า Preventive maintenance

อันดับต่อไปจะพิจารณาเกี่ยวกับวิธีค้นหาตำแหน่งเส้นใยแสงขาดในกรณีที่เส้นใยแสงถูกทำให้
 ขาดอันเนื่องมาจากแรงกระทำภายนอกด้วยสาเหตุอย่างใดอย่างหนึ่งถ้าเป็นกรณีของเคเบิลที่ทำด้วยโลหะ
 วิธีหาตำแหน่งของสายขาดจะใช้ Pulse test สำหรับกรณีของเส้นใยแสงก็เหมือนกัน ใช้ Optical
 pulse tester กล่าวคือจะปล่อย Optical pulse เข้าไปในเส้นใยแสง แสงส่วนหนึ่งจะเกิด
 Rayleigh scatter อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเหเล็กน้อยภายใน core กลับคืน
 มาที่ปลายที่ปล่อยแสงเข้าไป แสงนี้เรียกว่า Back direction scattering light นอกจากนี้ที่จุดที่
 เส้นใยแสงขาด เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเหอย่างกะทันหันจะเกิดแสงสะท้อนกลับมา
 อย่างมาก (เรียกว่า Fresnel reflecting light) แสงที่กระจายกลับมาที่ด้านหลังและแสง
 Fresnel reflecting light จะกลับมาที่ปลายด้านที่ปล่อยแสงเข้าไป หลังจากที่มีนั้ใช้เวลาในวงจรเคิน
 ทางที่เป็นสัดส่วนกับระยะทางจากจุดสะท้อนกลับ โดยการนำแสงที่กลับคืนมานี้ไปแยกออกด้วยอุปกรณ์
 Optical deflector ในระบบการวัดที่แสดงในรูปที่ 18 จากนั้นนำไปเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าให้ได้
 รูปคลื่นตามรูปที่ 18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

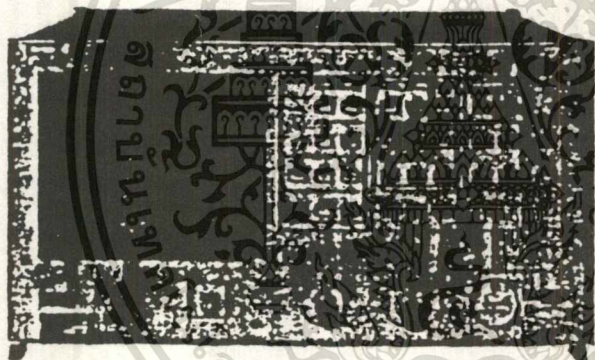


รูปที่ 18 ส่วนประกอบพื้นฐานของ Pulse tester

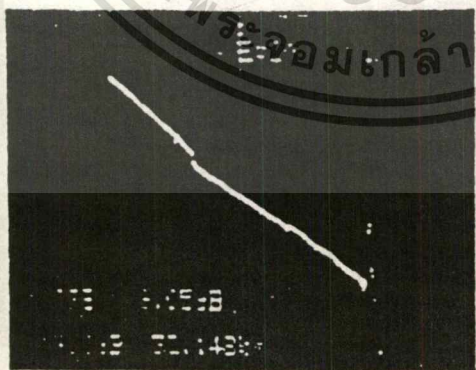


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าการณีใดรูปที่ 19 อีก หลักการวัดระยะทางของจุดที่เส้นใยแสงขาด Pulse tester ที่มีการนำไปใช้

แทนในแนวอนแสดงเวลาการเดินทางไปและกลับจากปลายที่ข้อแสงเข้าไป ถ้าหากว่า
 ดัชนีการหักเหของเส้นใยแสงมีค่าเท่ากันตลอดทิศทางที่แสงเดินทางแล้วละก็ ปริมาณการกระจายกลับมา
 ทางด้านหลังของแสงที่เดินทางในแต่ละจุดในเส้นใยแสงจะเท่ากัน กล่าวถึงแสงที่เดินทางมาจากจุดที่อยู่
 ไกลนั้นจะขนาดต่างเนื่องจากส่วนของการสูญเสียในเส้นใยแสงเท่านั้นเอง (ดังแสดงด้วยความชันของ
 ระยะ AB ในรูปที่ 19) อนึ่งถ้าหากระหว่างทางเกิดมีจุดขาดของเส้นใยแสง จะมองเห็นแสงสะท้อน
 กลับอันเนื่องมาจาก Fresnel reflection มีค่าสูง โดยการเปลี่ยนระยะเวลาที่ใช้ในการเดิน
 ทางจากจุดเริ่มต้นจนถึงจุดที่เส้นใยแสงขาดให้เป็นระยะทาง จะทำให้สามารถหาตำแหน่งของจุดที่เส้นใย
 แสงขาดได้เนื่องจากในอุปกรณ์ Optical pulse tester จริง ๆ นั้นเขาจะแบ่งแกนนอนเป็นสเกลระยะ
 ทาง จึงทำให้สามารถอ่านค่าของระยะของตำแหน่งที่จุดเส้นใยแสงขาดได้โดยตรงเลย ตัวอย่างของ
 Optical pulse tester ที่ใช้ทำ Pulse tesse และรูปร่างคลื่นที่แสดงออกมาบนจอแสดงดังรูปที่ 20



(a) ลักษณะภายนอกของ เครื่องทดสอบพัลส์



(b) รูปคลื่นที่วัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งรูปที่ 20 ที่ PULSE TESTER ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดีของไฟเบอร์ออปติก

- มีการสูญเสียต่ำตลอดย่านความยาวคลื่นที่ใช้ใช้งาน
- มีแบนวิธกว้าง (1 - 10 GHz, สำหรับ Multimode และ Single mode fiber ตลอดความยาว 1 กิโลเมตร)
- ขนาดเล็ก (เส้นใยแก้วมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 100 ไมโครเมตร และเส้นผ่าศูนย์กลางทั้งหมด ซึ่งรวมทั้งที่หุ้มด้วยพลาสติกประมาณ 1-2 มิลลิเมตร)
- น้ำหนักเบา
- ไม่มีสิ่งรบกวนจากแม่เหล็กไฟฟ้า
- Crosstalk ต่ำ และมีมาตรการป้องกันสูง
- วัสดุที่ใช้ทำไฟเบอร์ออปติก คือ ทราซ ซึ่งมีอยู่มาตามธรรมชาติ
- มีความต้านทานต่อการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี และการเปลี่ยนแปลงทางอุณหภูมิสูงมาก
- สามารถเว้นระยะห่างของ Repeater ให้ห่างออกไปได้ถึง 10 เท่า ของที่ใช้สายทองแดง
- ไม่เกิดการรบกวนจากคู่สายข้างเคียง
- มีความจุคู่สาย มากกว่าสายเคเบิลธรรมดา ขนาดเท่า ๆ กัน มากกว่า ประมาณ 10 % ถึง 20 %
- Modulation ได้ channel มากกว่า
- บำรุงรักษาง่าย เนื่องจากความชื้นไม่มีผลต่อคุณสมบัติของสาย
- ราคาของสาย Fiber-optic จะมีราคาใกล้เคียง หรือถูกกว่าสายทองแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THEORY

ในบทนี้จะพูดถึงเกี่ยวกับภาคต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องและนำมาใช้ใน Project "Infrared Pulse Communication" ซึ่งมีหัวข้อต่าง ๆ ดังนี้

1. Infra-red Communication Information
2. ตัวกำเนิดแสง, ตัวรับแสง
3. Phase Lock Loop
4. Monolithic VCO.
5. Active Filter

1. Infra-red Pulse Communication

Infra-red Ray เป็น Electro Magnetic Wave ที่มีความถี่สูงกว่า Microwave แต่มีความถี่ต่ำกว่าแสงสีแดง แบ่งออกเป็น

- | | | | |
|----------------|--------------------|----------------------------|-------------------------|
| Far infra-red | มีช่วง Wave length | ตั้งแต่ 50 μm | ถึง 1,000 μm |
| Mid infra-red | มีช่วง Wave length | ตั้งแต่ 2.5 μm | ถึง 50 μm |
| Near infra-red | มีช่วง Wave length | ตั้งแต่ 0.75 μm | ถึง 2.5 μm |

สำหรับการสื่อสารโดยใช้ Fiber Optic มักจะใช้อยู่ในช่วง Visible Ray จนถึง Near Infra-red ทั้งนี้เนื่องจากว่า Fiber Optic ที่ค้นพบจะ Response Wave length ของแสงอยู่ในช่วงนี้เท่านั้น

การสื่อสารโดยใช้แสง Infra-red กับ Fiber Optic มีข้อดีกว่าการใช้ Cable ธรรมดาอยู่อย่างมาก ดังตัวอย่างเช่น

สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับ Repeater การสื่อสารโดยใช้สายเคเบิลธรรมดา สัญญาณจะถูก Attenuate ลงไปตามระยะทางของสายเคเบิล ทั้งนี้เนื่องจากภายในสายเคเบิลมี Stray Capacitance, Stray Inductance ความต้านทานภายในสาย ดังนั้น เมื่อส่งสัญญาณที่เบาลงนี้ให้มี Amplitude สูงขึ้น สำหรับสายเคเบิลธรรมดาจะต้องมี Repeater ทุก ๆ 5-6 กิโลเมตร แต่การใช้การสื่อสารโดยใช้ Fiber Optic แล้วก็สามารถยืดช่วงระยะห่างของ Repeater ออกไปได้ไกลถึง 50-100 กิโลเมตร ทั้งนี้เนื่องจากภายใน Fiber Optic มีการ Attenuate น้อยกว่าสายเคเบิลธรรมดา จึงสามารถที่จะยืดช่วงระยะห่างของ Repeater ออกไปได้ถึง 10 เท่าของสายเคเบิลธรรมดา ทำให้ประหยัดค่าติดตั้ง และค่าบำรุงรักษา Repeater ลงไปได้มาก อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

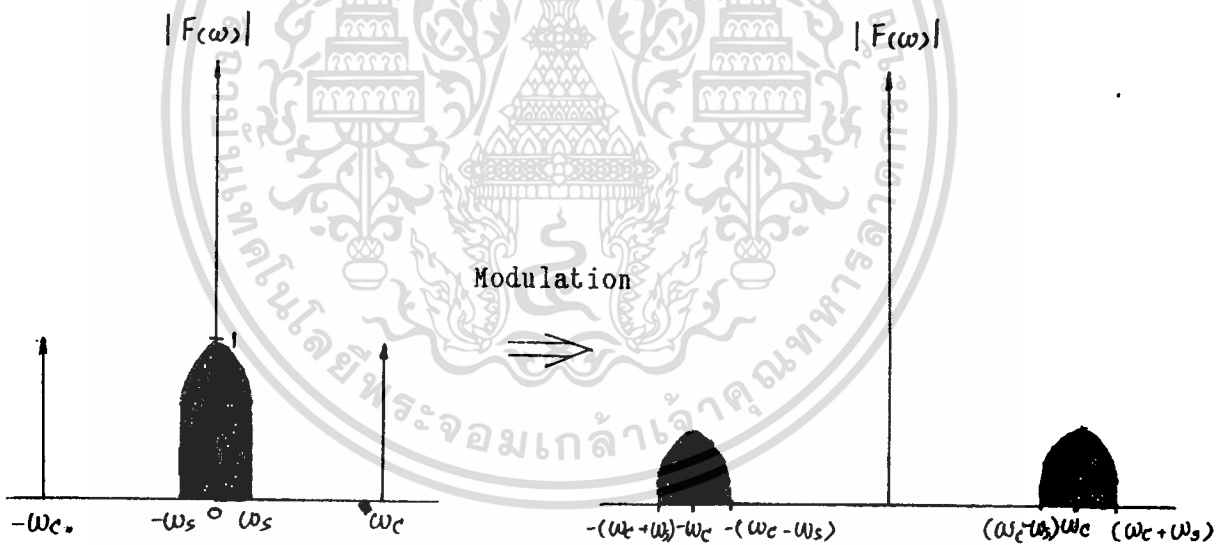
1. ลด Noise ที่เกิดจากการ Induced emf. ระหว่างสาย สำหรับสายเคเบิลแบบธรรมดาซึ่งใช้สายทองแดงเป็นตัวนำ สัญญาณที่ส่งมาจากเคเบิลคู่หนึ่งอาจจะไป Induce emf. ไปรบกวนสายอีกคู่หนึ่งที่อยู่ใกล้เคียงได้ ทำให้เกิด Interference ขึ้นใน Transmission line เส้นใกล้เคียง

แต่สำหรับ Fiber Optic นั้นไม่เกิดปรากฏการณ์เช่นนี้ Fiber Optic แต่ละเส้นไม่สามารถ Induce emf. เข้าไปอีกเส้นหนึ่งได้ จึงสามารถลด Noise ที่เกิดจาก Interference ได้

2. ประสิทธิภาพสาย

จากทฤษฎีของ Double Side Band Modulation การส่ง information ต้องการ Bandwidth เท่ากับ 2 เท่าของ Bandwidth ของ information ดังสมการ

$$\cos \omega_s t \cdot \cos \omega_c t = \frac{1}{2} \cos (\omega_c + \omega_s) t + \frac{1}{2} \cos (\omega_c - \omega_s) t$$



รูปที่ 3.1 แสดงการ Modulation ใน frequency domain

เราจะสรุปได้ว่า

$$\text{จำนวนของ Channel ที่ Modulate ได้} = \frac{\text{Frequency Variation of Carrier}}{2 \text{ เท่าของความถี่ของ Signal}}$$

ในช่วง Near Infra-red Ray ซึ่งเป็น Electro-Magnetic Wave ที่มีความ

ยาวคลื่นประมาณ 0.7 ถึง 1.2 ไมครอน และเราสามารถ Modulation สัญญาณได้มีความถี่ในช่วงนี้ได้

ทุกกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงของ Wave length Variation ของ Carrier = 0.5

Frequency Variation = $1.5 \times 10^{14} \text{ Hz}$

สมมติว่า information ที่มี cut off Frequency = 3 KH_z

$$\text{DSB Modulation ได้} = \frac{1.5 \times 10^{14}}{2 \times 3 \text{ KH}_z} = 2.5 \times 10^{10} \text{ Channel}$$

ดังนั้นเราสามารถ Modulate สัญญาณ 2.5×10^{10} Channel ลงใน Fiber Optic เพียงเส้นเดียวได้

3. บำรุงรักษาง่าย

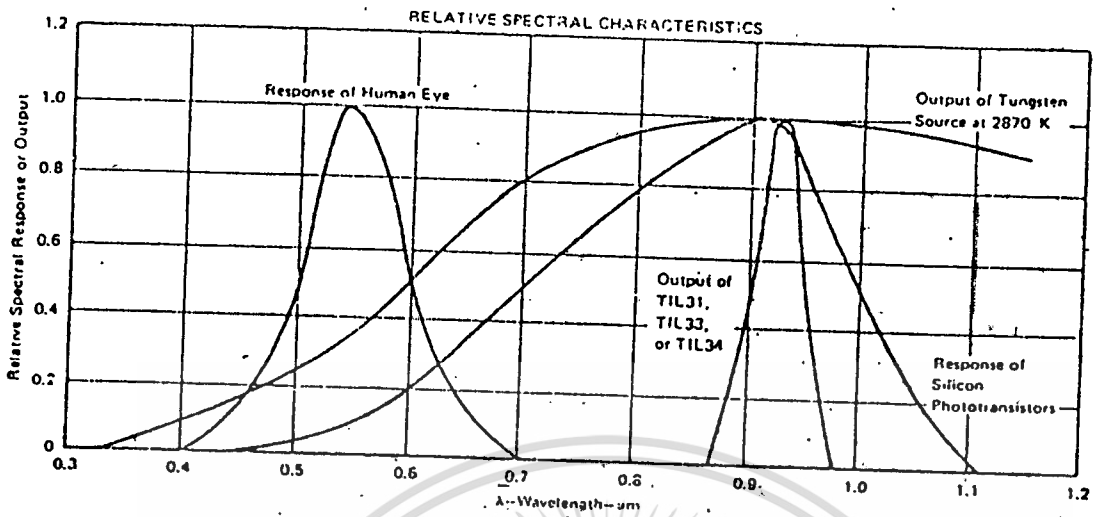
Fiber Optic เป็นสารประเภท Polymer ไม่ลึกร้อนหรือทำปฏิกิริยากับน้ำ ออกซิเจน หรือน้ำทะเล ดังนั้นการวางเคเบิลด้วย Fiber Optic จึงบำรุงรักษาง่ายกว่าที่จะใช้สายเคเบิลที่เป็นทองแดงหรือโลหะซึ่งมักจะมีปัญหาเมื่อมีความชื้น หรือการกัดกร่อนจากน้ำทะเล เราจึงนิยมใช้ Fiber Optic เป็น Cable ได้น้ำมากกว่าสายเคเบิลธรรมดา

การสื่อสารโดยใช้ Fiber Optic ส่วนใหญ่จะทำได้ในช่วง Visible (0.6) ถึงช่วง Near Infra-red แต่มักจะใช้ช่วง Near Infra-red เป็นส่วนใหญ่ ทั้งนี้ด้วยเหตุผล 2 ประการด้วยกันคือ

1) Fiber Optic จะมี Frequency Response คืออยู่ในช่วง Visible Ray ถึง Infra-red Ray เท่านั้น ถ้าใช้ช่วงความถี่อื่นนอกเหนือจากความถี่นี้ได้แล้ว Fiber Optic จะเสียคุณสมบัติในการนำสัญญาณลงไป คือมีการ attenuate หรือเรียกว่า loss มาก ซึ่งปรากฏการณ์เช่นนี้จะทำให้ต้องใช้ Repeater จำนวนมากขึ้นซึ่งจะทำให้เสียค่าใช้จ่ายมากขึ้นด้วย

2) Detector ที่ใช้ Detect สัญญาณมักจะใช้ Photo Diode Sensitivity ดีในช่วง Visible Ray ถึง Near Infra-red (0.4 ถึง 1.0) แต่จะมี Maximum relative spectral Response อยู่ที่ช่วง 0.85 ถึง 0.95 ซึ่งเป็นช่วงของ Near Infra-red ตาม Relative Spectral Response ดังภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แสดง relative spectral characteristics ของ photo device

จาก Curve จะเห็นว่า ทั้ง Photo Transistor และ Photo Diode TIL 100 จะ Response Frequency ค่อนข้าง Near Infra-red แต่สำหรับ Photo Silicon Transistor สามารถ Response Visible Ray ได้เหมือนกัน แต่เทียบแล้วจะเห็นว่า มี Relative Spectral Response ประมาณ 20%-40% ของ Peak Relative Response เท่านั้น

เพราะฉะนั้น การ Communication ในช่วง Near Infra-red จึงเป็นการที่ได้ สัญญาณที่ชัดที่สุดในระยะทางที่ยาวเท่ากัน

2. ตัวกำเนิดแสง, ตัวรับแสง

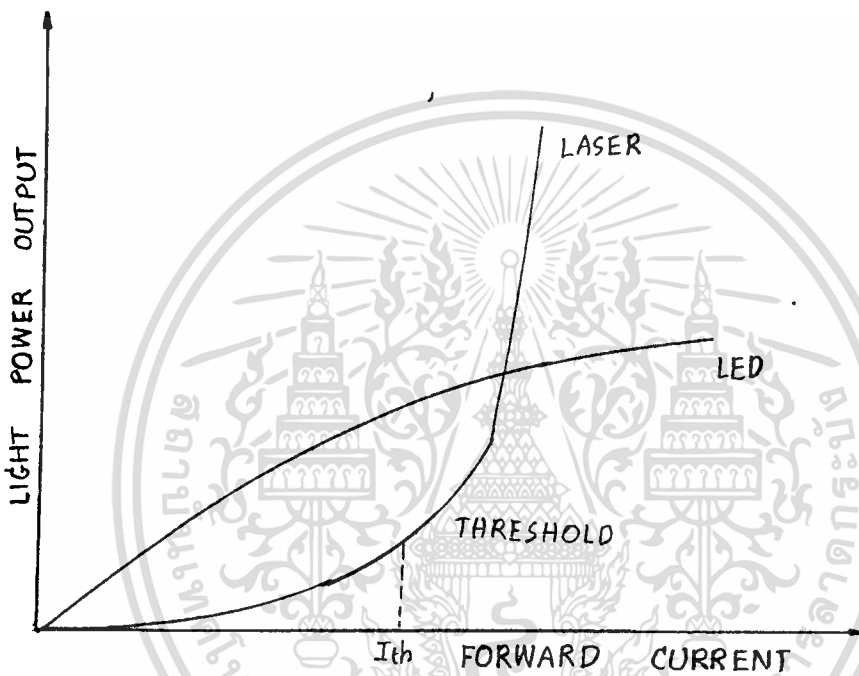
ในด้านการสื่อสาร อุปกรณ์ที่ทำให้กำเนิดพลังงานแม่เหล็กในแถบความยาวคลื่นที่ตามองเห็น และแถบอินฟราเรด เรียกว่า "ตัวกำเนิดแสง"

ในกรณีที่แสง หรือ Electromagnetic wave ในช่วง Infra-red Ray ถึง Ultraviolet Ray ที่ Radiate ออกมาโดยมี Wave length (หรือ Frequency เดียวกัน) และมี Phase เดียวกันโดยตลอด และเดินทางไปในทิศทางเดียวกันถือว่าเป็น Laser

ในกรณีที่เรา Bias PN Junction บางชนิด เช่น GaAs ที่มี Direct Band Gap. โดยถ้าเรา Bias ให้เป็น Forward Bias, PN Junction นี้จะให้แสงออกมา ซึ่งเรียกว่า การเกิด Emission ของ Photon จาก PN Junction ขึ้น ถ้าแสงที่เปล่งมาจาก PN Junction นี้เป็นอิสระการหนึ่งมันมีทิศทางที่แน่นอน

Junction นี้ อยู่ในลักษณะ incoherent เราเรียก ว่า PN Junction นี้ ว่า "Light Emitting Diode" แต่ถ้าแสงที่เปล่งออกมาจาก PN Junction อยู่ในลักษณะ Coherent เราเรียก PN Junction นี้ ว่า Laser Diode

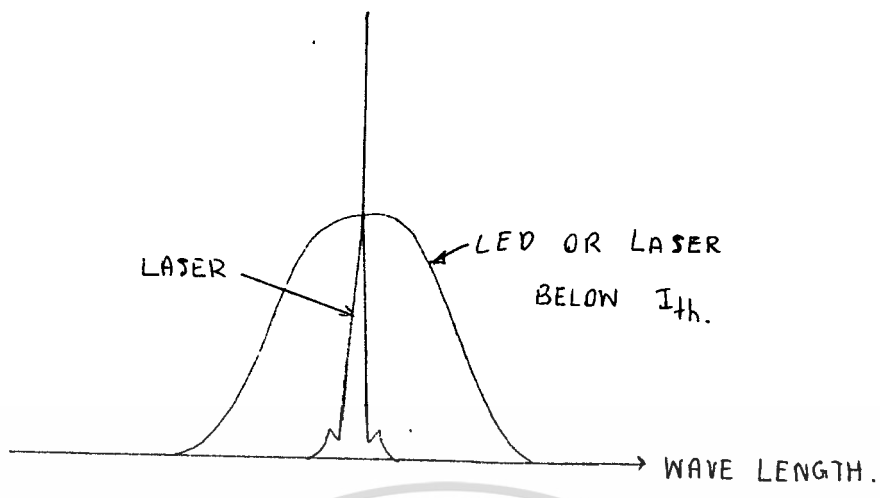
Laser Diode มีสถานะของมัน 2 สถานะ ขึ้นอยู่กับ การที่เรา Apply กระแสให้มัน กล่าวคือ Laser Diode จะมีค่า Threshold Current (I_{th}) ตัวมันเองจะแสดงสถานะ เป็น Light Emitting Diode ธรรมดา คือ มันเองจะให้แสงที่มี Spectrum กว้าง และมี ลักษณะทาง incoherent



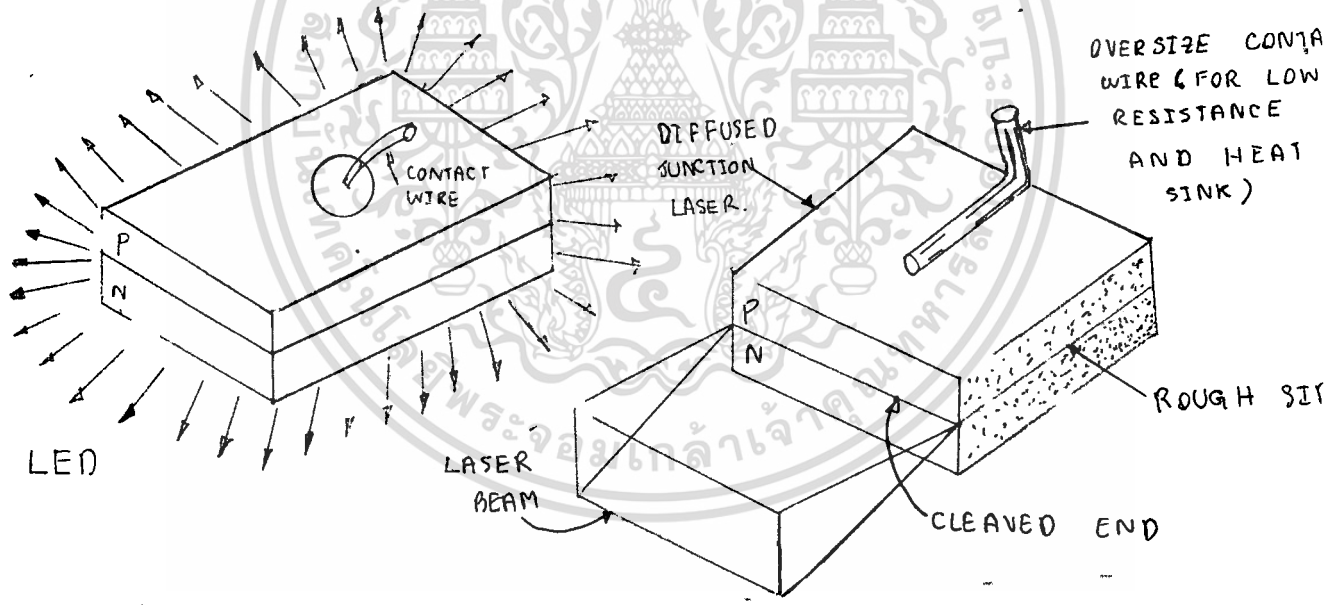
รูปที่ 3.3 Power Output & Forward Current ระหว่าง LED กับ LASER DIODE

แต่ถ้ากระแสไหลผ่านตัวมันมากกว่า Threshold Current (I_{th}) ของมันแล้วแสงที่ออกมาจะมีลักษณะ Coherent และมี Spectrum แคบมาก ดังการเปรียบเทียบ Spectrum ของ LED และ LASER DIODE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 ภาพแสดงการเปรียบเทียบ Wavelength ของ LED & LASER



รูปที่ 3.5 ภาพเปรียบเทียบลักษณะการเปล่งแสงของ LED และ LASER DIODE

ในทางทฤษฎี การเกิดคุณสมบัติของ Laser Diode ต้องมีคุณสมบัติ ดังนี้

1. เกิดจากการประกอบขึ้นจาก Direct Gap Semiconductor
2. มีคุณสมบัติของ Fabry-Perot Cavity ซึ่งมีคุณสมบัติคล้ายกับกระจกเงาที่ควบคุม

ทิศทางของ Photon ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

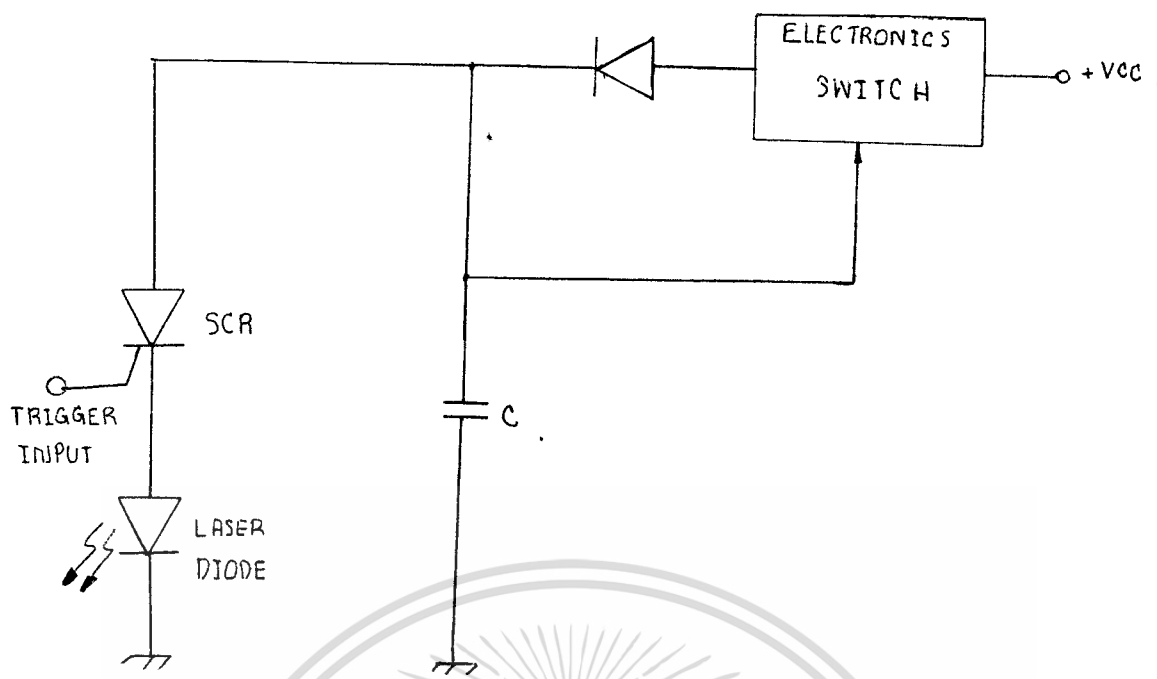
3. Depletion Region Laser for Single-heterojunction Laser Minority Carrier

Laser Diode ที่มีผลทางสูง และมีอายุการใช้งานนาน เราเรียกว่า Heterojunction คือ Junction ที่เกิดจาก Semiconductor ชนิดที่มีลักษณะโครงสร้างที่ไม่เหมือนกัน เช่น GaAs, AlGaAs, แสงที่ถูกปล่อยออกมา จะออกจากรอยต่อของ Semiconductor Laser

Heterojunction Laser ที่สำคัญมีอยู่ 2 ชนิดคือ Single-heterojunction (SH) และ Double-heterojunction (DH)

Single-heterojunction Laser Diode เช่น Laser Diode ที่มีขาสั้วไป ที่แพร่หลายที่สุด Single-heterojunction แบบ Close Confinement เป็นแบบที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบ Diffused Junction Laser แสงที่เปล่งออกมามี Wave length ประมาณ 0.9 μ m. หรือ 900 μ m. แต่ใช้งาน Continuous ใน Room Temperature ไม่ได้การ Operate ต้องใช้ High Current Pulse ที่มี Duty Cycle น้อยกว่า 0.1% โดย High Current Pulse นี้จะต้องมี fast-rise time โดยมี Rise time ไม่น้อยกว่า 200 nanosec., Power Output ประมาณ 3-50 Watt ขึ้นอยู่กับขนาดของ Junction แต่ถ้าต้องการเป็น Kilowatt อาจจะทำได้โดยต่อ Multidiode array เราสามารถ Operate Laser-diode ให้ Continuous ได้ โดยการ Operate ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 77 K หรือแช่ในไนโตรเจนเหลว (Liquid Nitrogen)

เนื่องจาก SH Laser ต้องการ Fast rise time, short duration และ High Current Pulse เราจะใช้ Transistor ธรรมดา drive SH-Laser ไม่ได้ ที่นิยมใช้กันคือ fast switching SCR., Four Laser Diode, Avalanche transistor หรือ V-Fet. เพื่อสร้าง Current Pulse หรือ Discharge Capacitor เข้าไปยัง SH Laser



รูปที่ 3.6 หลักการ Firing Laser Diode

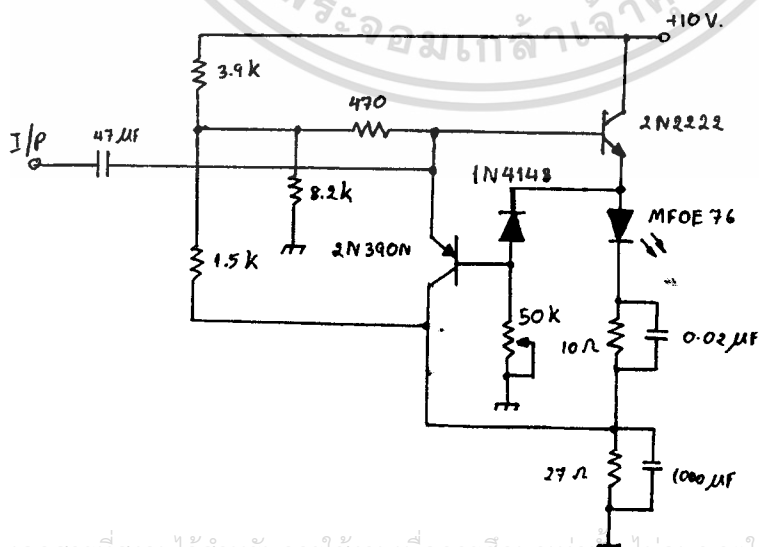
สำหรับ Double Heterojunction Laser สามารถ Operate อย่าง Continous ใน Room Temperature ได้ เนื่องจากสร้างเป็น Strip Geometry เมื่อมีกระแสไหลผ่าน Strip ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นที่พื้นที่เล็ก ทำให้เกิด Current Density จำนวนมากขึ้นได้ ทำให้ Double-heterojunction ใช้ threshold current น้อยและใช้กระแสน้อยด้วย บางตัวสามารถจ่าย power เป็น Milliwatt โดยใช้ Current น้อยกว่า milliamp.

Double Heterojunction Laser เหมาะสมที่จะนำมาใช้ใน Optical fiber Communication, Laser Printing System และ Vidio-disc read out มากกว่า Single Heterojunction แต่ Double heterojunction มีข้อเสียที่ว่า อุณหภูมิเปลี่ยนแปลง มีผลต่อ threshold current ซึ่งจะทาให้ Laser Diode เสียหายได้ ดังนั้น การใช้ Double Heterojunction ต้องมีการควบคุมอุณหภูมิและ forward Current ที่ไหลผ่าน Laser Diode จะต้องมีการ temperature compensate ด้วย

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 และลำแสงที่ส่งออกมาจะมีทิศทางเฉพาะใน Incoherent LED source จะไม่มี Optical Cavity เป็นตัวเลือกสีความ

ยาวคลื่น ทำให้แสงที่เปล่งออกมามี Spectral Width กว้าง นอกจากนี้แล้วแสงที่เปล่งออกมา ยังมี Beam Divergence กว้างอีกด้วย

ในการเลือกตัวกำเนิดแสงให้เหมาะสมกับเส้นใยแสงจะต้อง พิจารณาลักษณะหลาย ๆ อย่างของเส้นใยแสงประกอบคัวย เช่น การลดทอน, Bandwidth และ Modal Characteristics นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึง power, Spectral Width, Radiation Radiation Pattern และ Modulation Capacity ของตัวกำเนิดแสงเองด้วย สำหรับ เส้นใยแสงแต่ละชนิดต้องการขนาดของจุดรวมแสง (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 ยิ่งกว่า นั้น Light Acceptance Angle ยิ่งถูกจำกัดโดย 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 เท่านั้น จึงจะมีกำลังงานมากพอที่จะนำไปใช้ประโยชน์ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TRANSMITTER

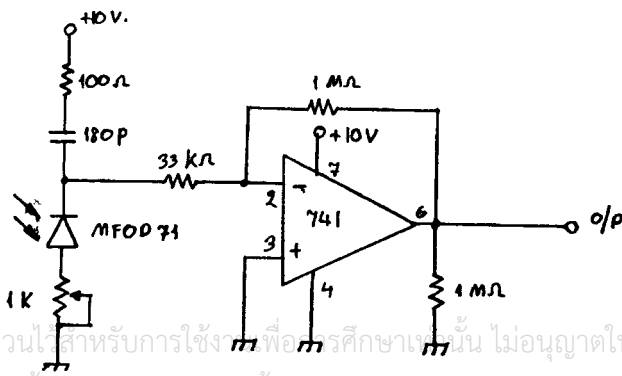
ตัวรับแสง Photodetector

คุณสมบัติของตัวรับแสงที่ดี

ที่ปลายด้าน Output ของเส้นใยแสง จะต้องมีอุปกรณ์รับแสง เพื่อแปล Information ที่บรรจุมาในสัญญาณแสง อุปกรณ์ชิ้นแรกของเครื่องรับคือ Photodetector ซึ่งจะรับรู้กำลังงานแสงที่มาตกกระทบ และเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของกระแสไฟฟ้า 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, Phototransistor และ Photodiodes แต่อย่างไรก็ตาม ตัวรับแสงเหล่านี้ บางตัวมีคุณสมบัติไม่เป็นไปตามความต้องการ Photomultiplier ประกอบด้วย Photocathode และ Noise ต่ำ แต่มีขนาดใหญ่ต้องการแรงดันไฟฟ้าสูง จึงไม่เหมาะสมกับระบบเส้นใยแสง สำหรับ Photodetector ที่เป็นสารกึ่งตัวนำ, Photodiode เป็นตัวรับแสงที่เหมาะสมกับระบบเส้นใยแสง เพราะมีขนาดเล็ก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Phase Lock Loop (PLL.)

วงจร Phase lock loop นี้มักจะพบมากในส่วนต่าง ๆ ทางด้านสื่อสารโทรคมนาคม ซึ่ง Phase lock loop นี้มักจะใช้ทำหน้าที่ดังนี้

1) ใช้ในการ demodulator ซึ่งสามารถใช้เป็น Phase demodulator และ Frequency Demodulator

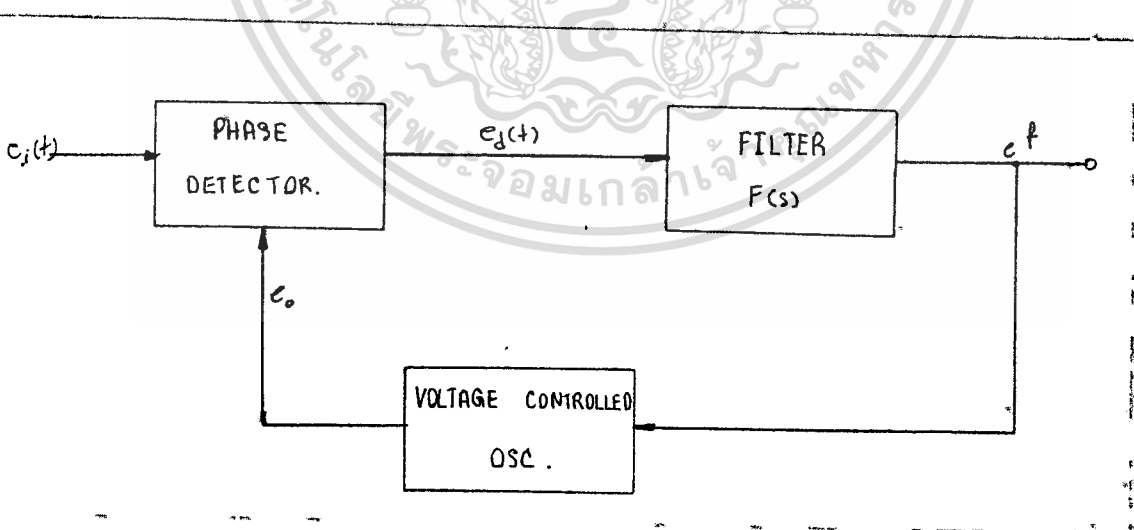
2) ใช้ในการ Track กับสัญญาณ carrier หรือ Synchronizing Signal ซึ่ง Signal ดังกล่าวจะเปลี่ยนแปลงตามเวลา (เป็น function ของเวลา)

ในกรณีที่ใช้ PLL. ทำหน้าที่เป็น demodulator, filter ที่ใช้ในวงจร demodulator จะต้องใช้ให้เหมาะสม frequency response ที่เราต้องการ แต่ในกรณีที่ใช้เป็น Tracking กับสัญญาณ carrier จะต้องคำนึงถึง Narrow band filter เพื่อลด Noise

ในปัจจุบันนี้ PLL. ได้ถูกสร้างขึ้นมาในรูปของ Monolithic Integrated Circuit ซึ่งประกอบด้วยภาค double balance phase detector, highly linear Voltage-Controlled Oscillator ซึ่ง Center Frequency ของ Voltage Controlled Oscillator สามารถ set ค่าได้ โดยการ set ค่า Resistor และ Capacitor

การทำงานของ Phase Lock Loop

Phase Lock Loop เราสามารถเขียน Block Diagram ได้เป็นดังนี้



รูปที่ 3.7 แสดง Block diagram ของ Phase Lock Loop

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่ $e_1(t)$ และ $e_2(t)$ เป็น Sinusoidal Wave-form

$$e_1(t) = \sqrt{2} E_1 [\sin(\omega_0 t + \phi_1(t))] \dots\dots\dots (1)$$

$$e_2(t) = \sqrt{2} E_2 [\sin(\omega_0 t + \phi_2(t))] \dots\dots\dots (2)$$

โดย E_1 = RMS. Input Voltage

E_2 = RMS. ของ $e_2(t)$ Voltage

$$\begin{aligned} e_d(t) &= e_1(t) \times e_2(t) = 2E_1E_2 \sin[\omega_0 t + \phi_1(t) \cos \omega_0 t + \phi_2(t)] \\ &= E_1E_2 \{ \sin[\phi_1(t) - \phi_2(t)] + \sin[2\omega_0 t + \phi_1(t) + \phi_2(t)] \} \end{aligned}$$

เมื่อผ่านวงจร Low Pass filter คำ $\sin[2\omega_0 t + \phi_1(t) + \phi_2(t)]$ จะถูก Filter ทิ้งไป

เพราะฉะนั้น, $e_e = E_1E_2 \sin[\omega_0(t) - \phi_1(t)] \dots\dots\dots (3.1)$

แต่ที่ Voltage Controlled Oscillator ความสัมพันธ์ระหว่าง Output Phase ของ Oscillator กับ Controlled Voltage จะอยู่ในรูป

$$\frac{d}{dt} \phi_2(t) = K_o e_e(t) \dots\dots\dots (4)$$

เมื่อ $e_e = 0$, $\phi_2 = \phi_0$ แล้วจะได้ว่า $\phi_2(t) = \int e_e(t) dt \dots\dots\dots (5)$

ในกรณีที่ loop ยังไม่ถูก lock แต่ Input signal $e_1(t)$ และ $e_2(t)$ มีความถี่ใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นจะเกิดสัญญาณความถี่เท่ากับ ความแตกต่างของ Frequency ของ $e_2(t)$ และ $e_1(t)$ สัญญาณนี้จะถูกป้อนเข้าไปยัง VCO. ซึ่งมีความถี่ต่ำ ซึ่งสามารถผ่าน Low Pass Filter ได้ ในขณะเดียวกัน $e_2(t)$ ซึ่งเป็น Output ของ VCO. จะถูกเปลี่ยนแปลงเพื่อที่จะเข้าหาความถี่ของ $e_1(t)$ จนกระทั่งเกิดการ lock กับ input signal แต่ถ้ามีการที่พยายามเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ของ VCO. ก็จะสามารถจะเปลี่ยนแปลงเพื่อที่จะ Track กับ $e_1(t)$ จนกว่าจะเกิดการ lock เกิดขึ้น นั่นก็คือไม่มี average Frequency ขึ้น

ในทำนองเดียวกัน ถ้า $e_1(t)$ เกิดการเปลี่ยนแปลงความถี่ไป การเปลี่ยนแปลงทันทีทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทาง phase ขึ้นระหว่าง e_1 และ e_2 ดังนั้น e_e ไม่ได้อยู่ที่ DC level สัญญาณด้านการค้า ก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นด้วย ซึ่ง e_e มีการเปลี่ยนแปลงก็จะมีผลทำให้ Frequency of การนำไปใช้

VCO. มีการเปลี่ยนแปลงเฟสที่จะให้เกิดการ lock ต่อไป

ผลที่เกิดจาก Phase Error ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ Frequency

ถ้าเราพิจารณา ภาค Phase detector Transfer function เราสามารถเขียนได้ว่า

$$e_d = K_D(\theta_1 - \theta_2) \dots\dots\dots (6)$$

K_D = Phase detector sensitivity

แต่ Function ของ VCO. มี Transfer function คือ

$$\theta_2 = K_o \int e_f(t) dt \dots\dots\dots (7)$$

Take Laplace Transform

$$\theta_2(s) = \frac{K_o e_f(s)}{s} \dots\dots\dots (8)$$

K_o = Oscillator Sensitivity

Phase ของ VCO. จะเป็นสัดส่วนกับ Integral ของ Voltage จาก loop เราจะ

เห็นว่า

$$e_f(s) = F(s)e_d(s) \dots\dots\dots (9)$$

จาก (6) เราจะได้ว่า $e_d(s) = K_D[\theta_1(s) - \theta_2(s)] \dots\dots\dots (10)$

และ (8) $e_f(s) = \frac{s \theta_2(s)}{K_o} \dots\dots\dots (11)$

แทนค่า (11) ใน (9) และ

$$(9) = (10)$$

เพราะฉะนั้น $e_d(s) = \frac{s \theta_2(s)}{F(s)K_o} = K_D [\theta_1(s) - \theta_2(s)]$
 $s \theta_2(s) = F(s)K_D K_o [\theta_1(s) - \theta_2(s)]$

$$(s + K_D K_o F(s)) \theta_2(s) = K_D K_o F(s) \theta_1(s)$$

$$\frac{\theta_2(s)}{\theta_1(s)} = \frac{K_D K_o F(s)}{s + K_D K_o F(s)} \dots\dots (12)$$

จาก (12)

$$\frac{\theta_2(s)}{\theta_1(s)} = \frac{K_D K_o F(s)}{s + K_D K_o F(s)} \dots\dots (13)$$

$$1 - \frac{\theta_2(s)}{\theta_1(s)} = \frac{s + K_D K_o F(s) - K_D K_o F(s)}{s + K_D K_o F(s)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ ใช้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อาจนำไปใช้ประโยชน์อื่นใด (14) ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น $\theta_1(s)$ จะมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึง $s + K_D K_o F(s)$ ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก Final Value The orem

$$\lim_{s \rightarrow 0} sF(s) = \lim_{t \rightarrow \infty} F(t)$$

และจาก (14)
$$\lim_{t \rightarrow \infty} [e_1(t) - e_2(t)] = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{s^2 e_1(s)}{s + K_o K_D F(s)} \quad (15)$$

ในกรณีที่ $e_1(t)$ มีการเปลี่ยนแปลง Phase ทันทีทันใด ด้วย Magnitude = Δe_1

ซึ่งทำให้
$$e_1(s) = \frac{\Delta e_1}{s} \quad e_2(s) = e_1(s) - e_2(s)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} e_2(t) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{s \Delta e_1}{s + K_o K_D F(s)} = 0$$

จะเห็นว่าไม่มี Phase error เมื่อเกิด Step Change ของ phase เมื่อ t มีค่ามาก ๆ ใน Steady State Equation

ถ้า Input Signal $e_1(t)$ มีการเปลี่ยนแปลงทาง frequency ด้วยขนาด Magnitude $\Delta \omega$ การเปลี่ยนแปลงของ phase จะเป็น ramp

$$e_1(s) = \frac{\Delta \omega}{s^2}$$

แทนค่า $e_1(s)$ ใน (15)

$$\lim_{t \rightarrow \infty} e_2(t) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{\Delta \omega}{s + K_o K_D F(s)} = \frac{\Delta \omega}{K_o K_D F(s)} \quad (17)$$

จะเห็นว่า Phase error จะขึ้นอยู่กับขนาดของการเปลี่ยนแปลงของ input signal frequency

ซึ่ง
$$e_d(t) = \frac{\Delta \omega}{K_o K_D F(0)} \quad (18)$$

จากสมการ (18) เราจะเห็นว่า สามารถใช้เป็น Frequency Demodulator ได้

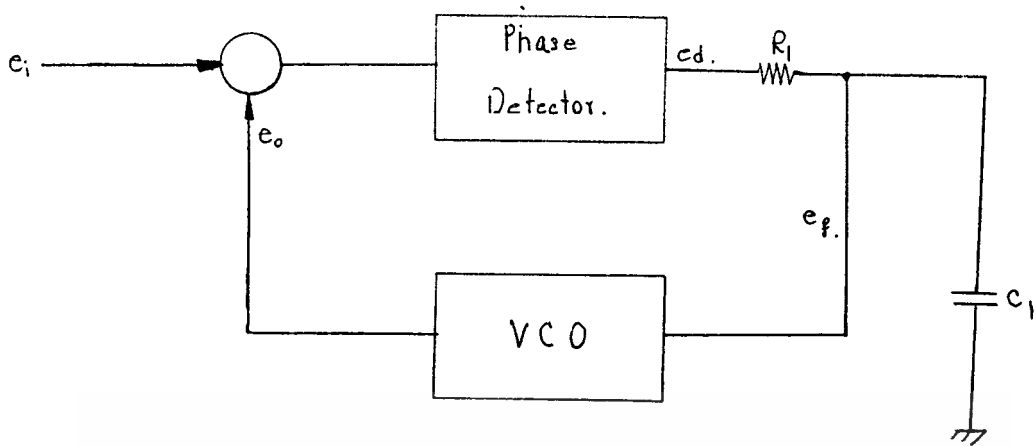
โดยให้
$$e_d(t) = \text{Output Signal} \propto \Delta \omega \quad (19)$$

โดย K_o = Oscillator Sensitivity หน่วย Radian/Volt-sec.

K_D = Phase Detector Sensitivity หน่วย Volt/radian

ให้เราพิจารณา Filter

ถ้า R, C เป็น Low Pass Filter แทนนั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



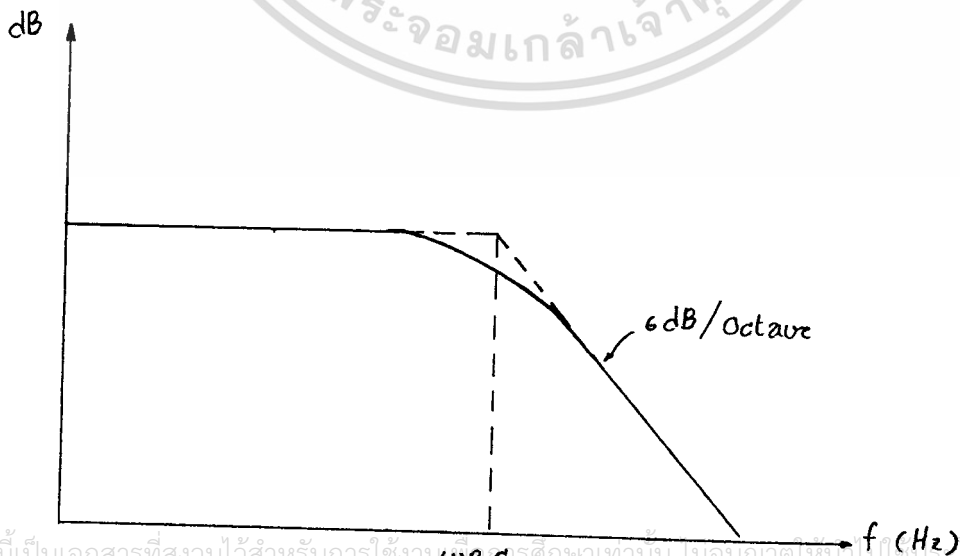
รูปที่ 3.8 แสดง block diagram ของ Phase Lock Loop

เพราะฉะนั้น

$$\frac{e_r}{e_d} = \frac{1}{1 + sR_1 C_1}$$

$$\frac{e_r(s)}{e_d(s)} = \frac{1}{1 + j\omega RC} = F(s)$$

จะได้ Bode Plot เป็น



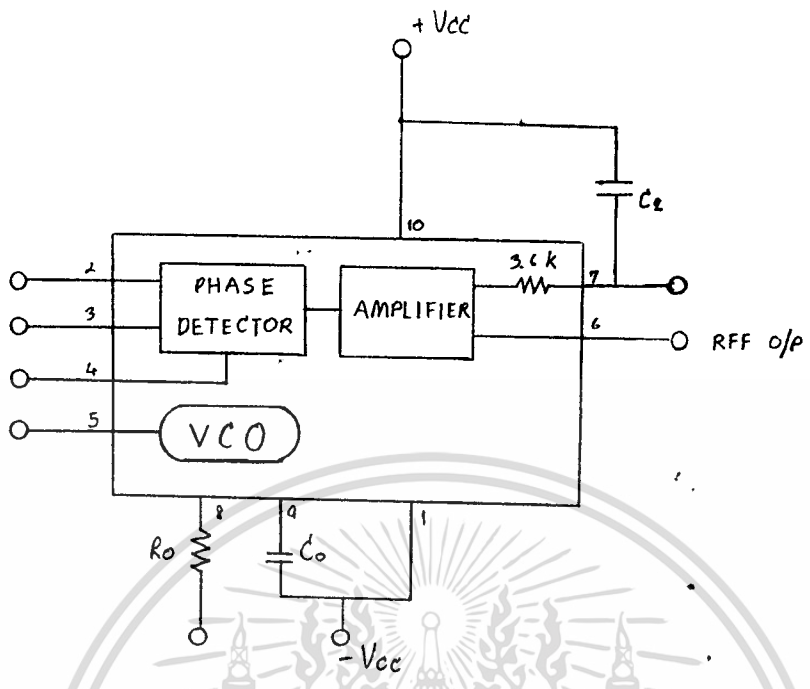
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน WR,C ศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.9 แสดง Bode Plot ของ single pole low pass filter

Project นี้ได้ใช้ LM 565 Phase Lock Loop เป็น Frequency Demodulator

LM 565 มีส่วนประกอบดังนี้



รูปที่ 3.10 แสดง block diagram ของ LM 565

การ design Free Running Frequency (2) ของ LM 565 หาได้จากสูตร

$$f_o = \frac{1}{3.7 R_o C_o}$$

loop gain หรือใน Servo theory เรียกว่า Velocity error coefficient
หาได้จากสูตร

$$\text{Loop gain} = K_o K_D \left(\frac{1}{\text{sec}} \right)$$

K_o = Oscillator Sensitivity (radian/sec)
Volt

K_D = Phase detector sensitivity (Volt)
radian

Loop gain ของ LM 565 หาได้จากสูตร

$$K_o K_D = 33.6 f_o$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ Vce ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ f_o = Free Running Frequency มีหน่วยเป็น Hz

V_{cc} = total Supply Voltage ของ Circuit

Hold in range คือช่วงของความถี่ที่ loop ยังคง lock อยู่ได้ หลังจากที่ loop เริ่ม lock แล้ว หาได้จากสูตร

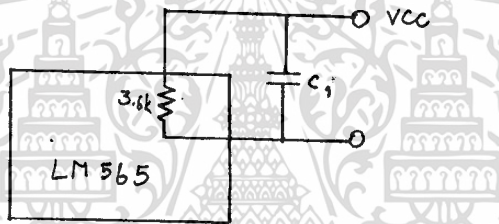
สูตร $f_H = + \frac{8f_o}{V_{cc}}$

f_o = free running frequency

V_{cc} = total Supply Voltage ของ Circuit

Loop Filter

เนื่องจากภายในของ Phase lock loop มี Output impedance 3.6 k



Out off Frequency ที่ต้องการสามารถคำนวณได้

$f = \frac{1}{2\pi R_1 C_1}$

รูปที่ 3.11 แสดงหลักการ filter ของ LM 565

4. Monolithic VCO

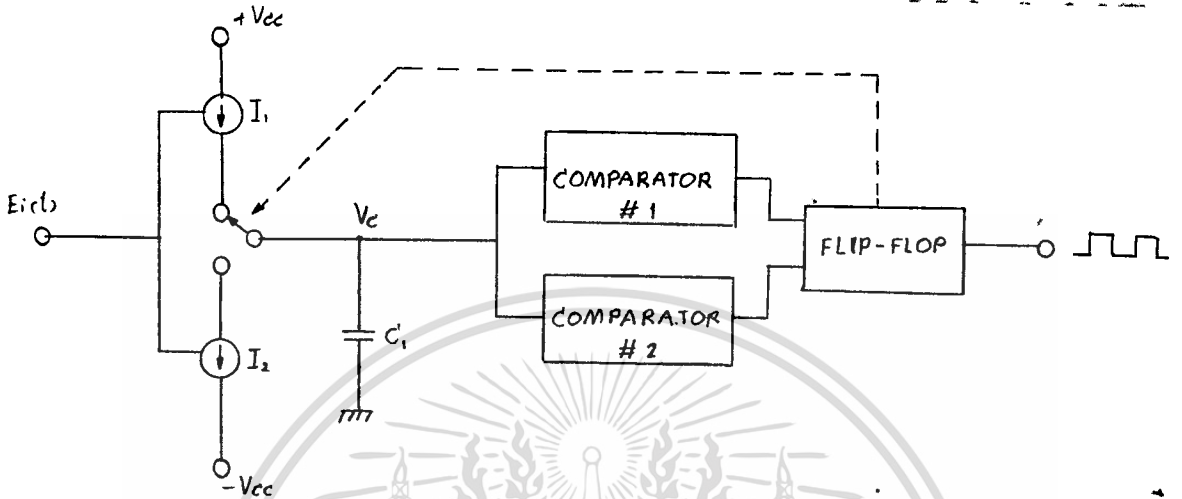
VCO. Voltage control oscillator คือ Output frequency ของ Oscillator ขึ้นอยู่กับ input control Voltage สามารถเขียนเป็น function ได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น $\Delta f(t)$ มม.ให้ α ดแปลง $\Delta e_f(t)$ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VCO. เป็นวงจรที่มีความสำคัญในการสื่อสารในปัจจุบัน ใน Phase lock loop ก็มีความจำเป็นต้องมี VCO. เป็นตัวช่วย lock และ Demod. สัญญาณ

หลักการท างานของ LM 566 VCO.

Block Diagram ของ VCO. มีดังภาพข้างล่าง



รูปที่ 3.12 แสดง block diagram ของ VCO

$I_1[E_1(t)]$ และ $I_2[E_1(t)]$ เป็น Constant current source ที่ controllable ซึ่ง $E_1(t)$ สามารถ Control Output Current ของ I_1 และ I_2 ได้

C_1 จะ Charge กระแสจาก Constant Current I_1, I_2 ซึ่งจะได Triangular Waveform

Comparator และ Comparator จะเป็นตัว limit ให้ Triangular Waveform ให้อยู่ใน limit โดยไป control Flip Flop แล้วไป control electronic Switch อีกทีหนึ่ง โดย Comparator#1 จะเป็นตัว Control Positive Voltage และ Comparator#2 จะเป็นตัว control Negative Voltage

เมื่อ I_1 และ I_2 เป็น Controllable Constant Current Source

$$I_1 = -I_2 = I$$

$$\Delta e_1(t) \propto \Delta i(t)$$

$$\Delta e_1(t) = Kai(t)$$

$i(t)$ กับ I มีค่าต่างกันมากโดย

$$I \gg \Delta i(t)$$

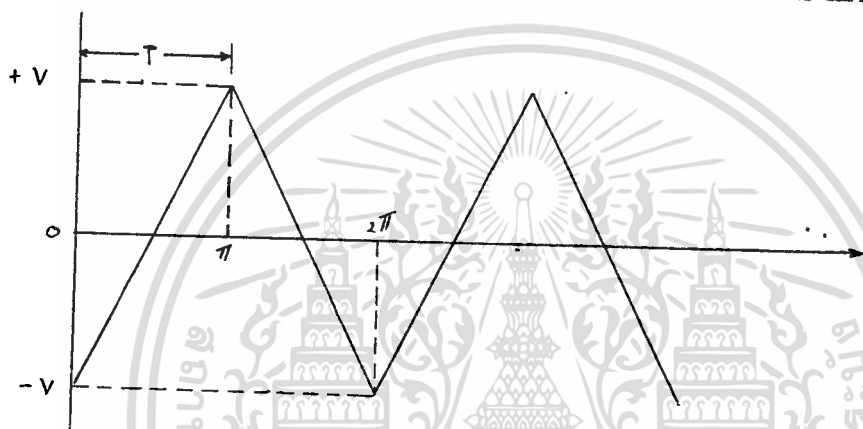
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะฉะนั้น $V_c = \frac{1}{C} \int i \cdot dt = \frac{It}{C}$ เมื่อ I เป็นบวก

$= \frac{-It}{C}$ เมื่อ I เป็นลบ

$= \frac{-I(t - T)}{C}$ เมื่อ $T < t < 2T$

เพราะฉะนั้น จากสมการจะได้ Waveform ว่า



แต่เนื่องจากได้มี Control ด้วย Voltage V_c .

$V_c = \frac{It}{C} - V$ เมื่อ I เป็น +ve

$= \frac{-I(t - T)}{C} + V_c$ เมื่อ I เป็น -ve

Comparator set ค่า Flip Flop ให้ Control Switch Position กลับไปกลับ
มาที่ V และ $-V$

Voltage Difference = $V - (-V) = 2V$

ให้ $V_R = 2V$

$T_1 = \frac{V_R C}{I}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีการดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$2T_1$ $2 V_R$

$$I = I + \Delta I$$

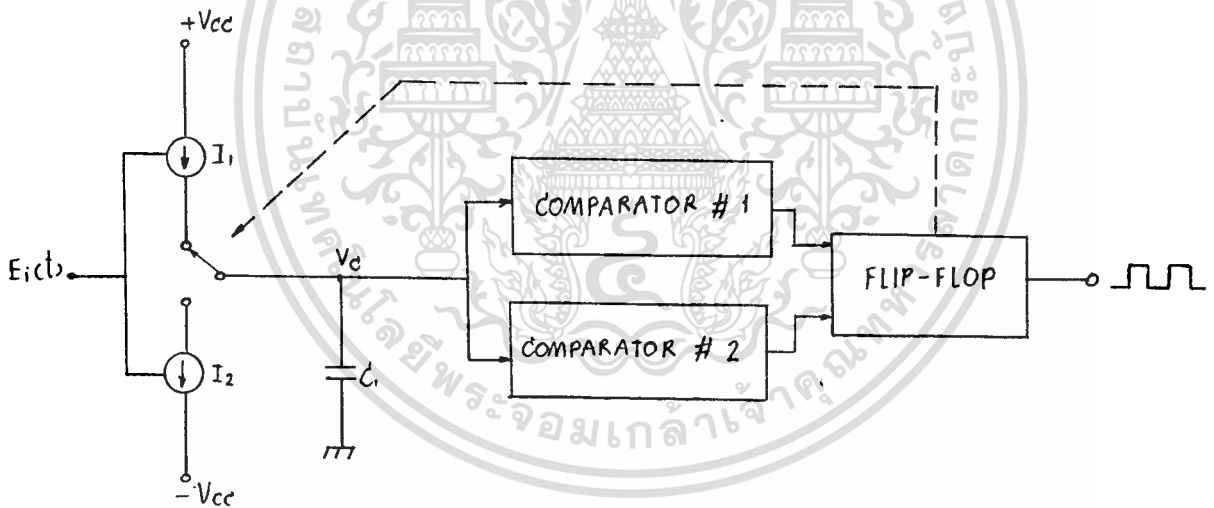
$$\Delta f_c = \frac{I + \Delta I}{2 V_R}$$

$$f = f_2 - f_1 = \frac{\Delta I}{2 V_R C} = \frac{\Delta e_i(t)}{2 K V_R C}$$

จะเห็นว่า $\Delta f \propto \Delta e_i(t)$

จะเห็นว่า การเปลี่ยนแปลงของความถี่เปลี่ยนแปลงไปตามสัดส่วนของ input control Signal

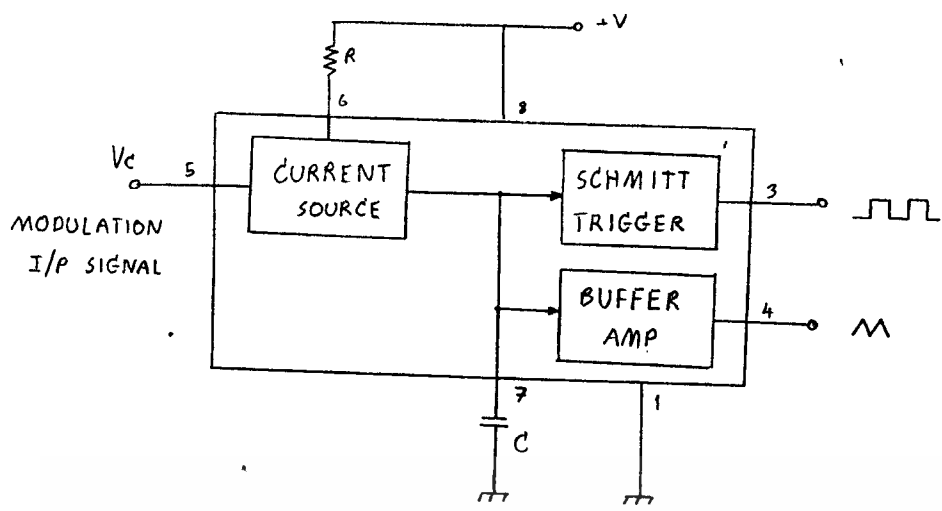
ซึ่งสรุปได้ว่า Linear Monolithic VCO. ที่ใช้ Block Diagram ดังรูปข้างต้น สามารถใช้เป็น Voltage Control Oscillator ได้



รูปที่ 3.13 แสดง block diagram ของ VCO

แต่สำหรับ LM 566 Monolithic VCO. ที่ใช้ก็มี Block Diagram ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 Block Diagram ของ LM 566 VCO.

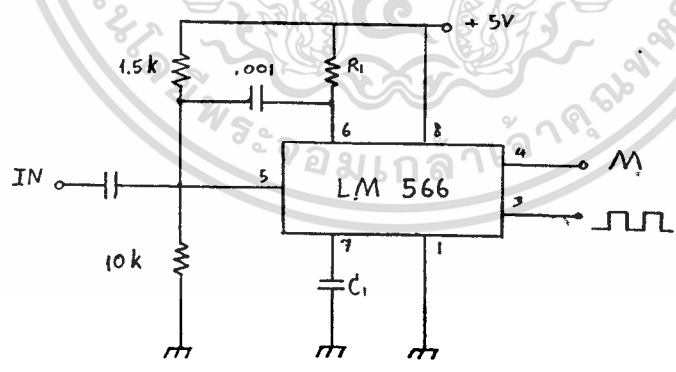
Limit ของ Control Voltage V_c สำหรับ LM 566

LM 566 มีช่วงของ V_c ที่จะทำให้ LM 566 Operate ได้ มีค่า

$$\frac{3}{4} V_{cc} < V_c < V_{cc}$$

เมื่อ V_{cc} เป็น total supply voltage

Typical Circuit สำหรับ LM 566 VCO. มีดังนี้



รูปที่ 3.15 Typical Circuit ของ LM 566 VCO.

Output Frequency $f_o = \frac{2(V_{cc} - V_c)}{R_1 C_1}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ R_1, C_1, V_{cc} ปรึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ได้โดย R_1 มีค่าอยู่ในช่วง $2K \Omega < R_1 < 20K \Omega$ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

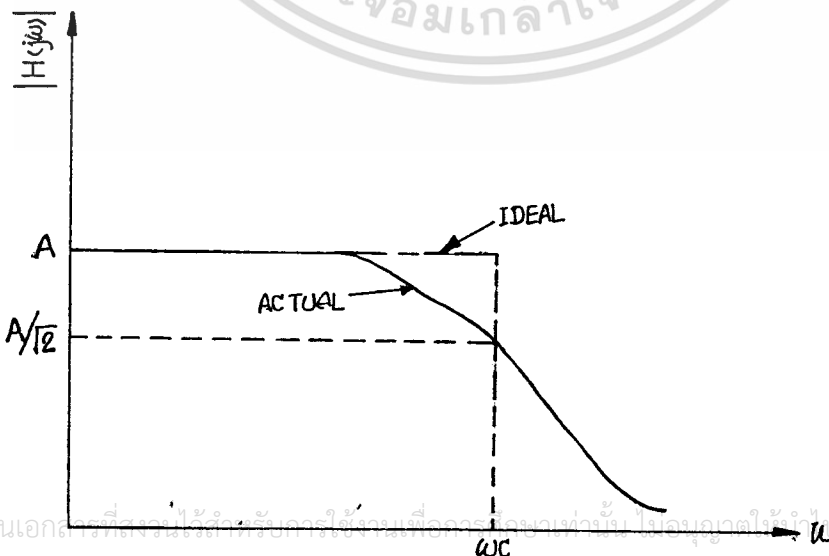
C .001 ต่อระหว่างขา 5 กับขา 6 เพื่อป้องกันการ Oscillator จาก Current source

Low Pass Active Filter

Ideal low pass filter เป็นวงจรทำให้ Signal ที่มี frequency ต่ำกว่า cut off frequency สามารถผ่านวงจรนี้ได้โดยปราศจาก lose หรือ attenuation แต่สำหรับ signal ที่มีความถี่สูงกว่า cut off frequency แล้ว จะไม่สามารถผ่านออกมาได้เลย



รูปที่ 3.16 แสดง frequency response ของ ideal low pass filter แต่ในทางเป็นจริงแล้ว เราไม่สามารถจะสร้าง ideal active filter ได้ เราจะได้ active filter ที่สามารถสร้างได้ตามรูป

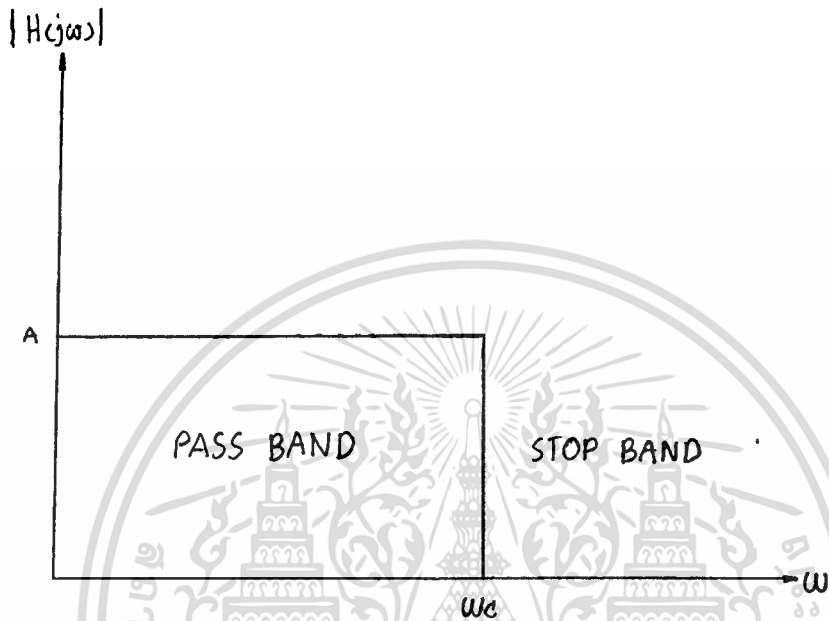


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการใช้งานที่ถูกต้องเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น สิ่งนี้ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.17 แสดงการเปรียบเทียบระหว่าง ideal กับ actual low pass filter

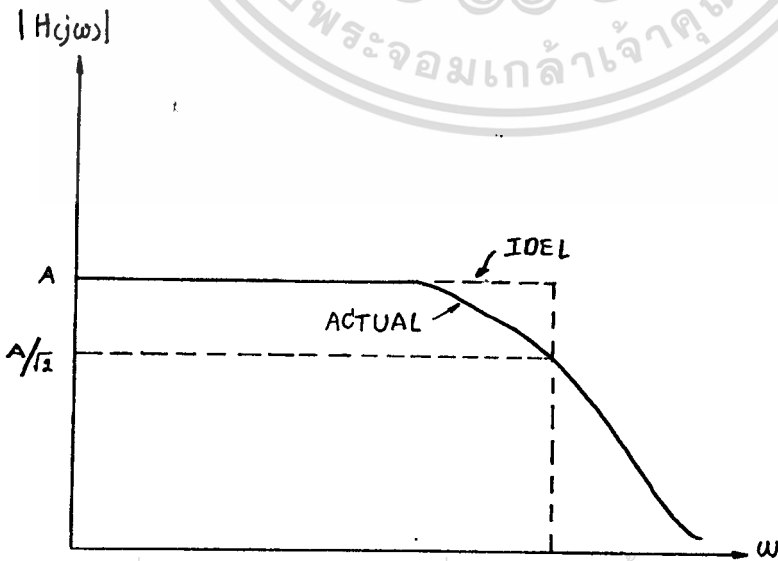
Low Pass Active Filter

Ideal low pass filter เป็นวงจรที่ทำให้ signal ที่มี frequency ต่ำกว่า cut off frequency สามารถผ่านวงจรนี้ได้โดยปราศจาก loss หรือ attenuation แต่สำหรับ signal ที่มีความถี่สูงกว่า cut off frequency แล้วจะไม่สามารถผ่านออกมาได้เลย



รูปที่ 3.18 แสดง frequency response ของ ideal low pass filter

แต่ในทางเป็นจริงแล้ว เราไม่สามารถจะสร้าง ideal active filter ได้ เราจะ ได้ active filter ที่สามารถสร้างได้ตามรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 3.19 แสดงการเปรียบเทียบระหว่าง ideal กับ actual low pass filter

เมื่อ $\omega = 2 f$, Amplitude = $H(j\omega)$
 เราได้ว่า $H(s) = V_2(s)/V_1(s)$
 เมื่อ $V_2 =$ output voltage
 $V_1 =$ input voltage

Cut off frequency (หรือ $f_c = \omega_c/2$) จะมี Amplitude = $\frac{H(j\omega)}{2}$
 = 0.707 ของ $H(j\omega)$

เพราะฉะนั้น Band pass filter range จึงอยู่ในช่วง $0 < \omega < \omega_c$ ที่ 3 dB cut off freq.

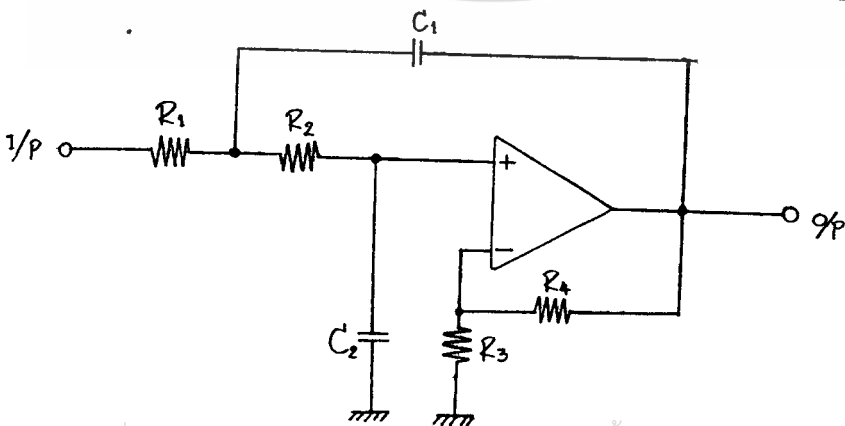
$$\frac{V_2(s)}{V_1(s)} = \frac{K}{s^2 + as + b}$$

a และ b เป็น constant ที่เราเลือกขึ้น ขึ้นอยู่กับว่าเราจะเลือก $K =$ constant

ใน second-order เทียบได้จาก กำลังมากที่สุดของ polynomial ถ้ามีตัวยกกำลัง มีค่ามากกว่า ก็จะมี degree ที่สูงตามไปด้วย gain ของ low pass filter ของ low pass ที่ $S = 0$ gain = $\frac{K}{b}$

ใน Active filter เราสามารถใช้ active device แทน inductor ได้ วิธีที่เราใช้กันก็คือ วิธีการของ Sallen and Key, active device เราใช้ OP-Amp เป็น active device

วงจร Active Low Pass Filter มีวงจรดังรูปข้างล่างนี้

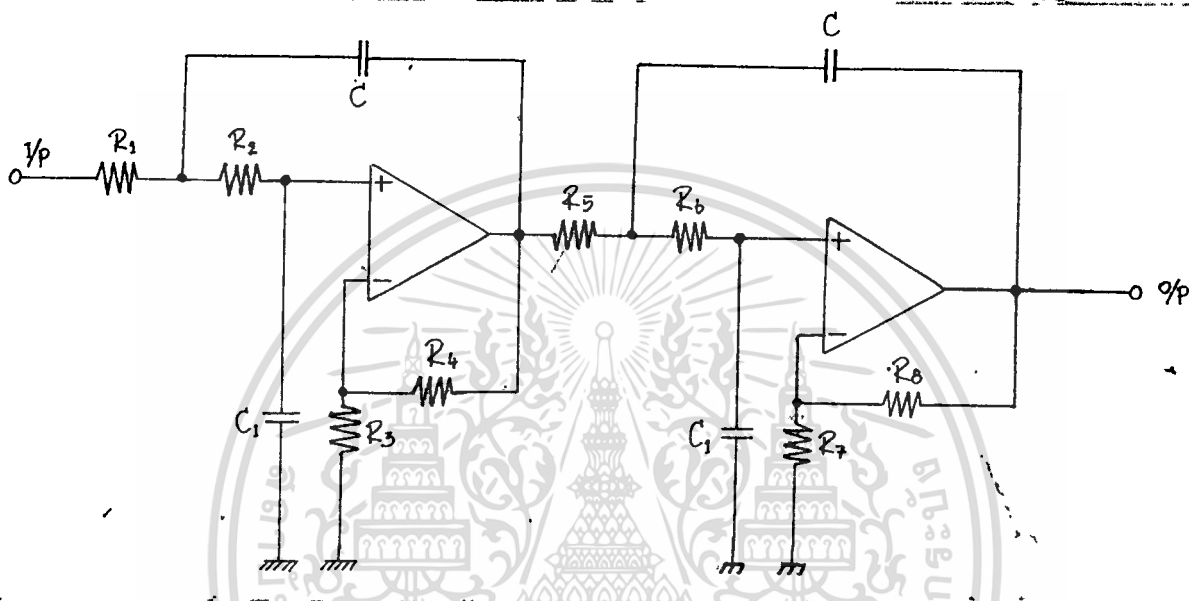


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าในรูปแบบใด 3.20 แสดง typical circuit ของ active low pass filter ครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า resistor & capacitor ที่เกี่ยวข้องกับค่า a, และ b Op-Amp ที่มี R_3 และ R_4 เป็นตัว voltage control voltage source

สำหรับ active filter ที่มี order มากกว่านี้ อาจจะทำการต่อ second order หลาย ๆ ตัวเข้าด้วยกัน แบบ cascode

เช่น ถ้าเราจะต่อ fourth order Low pass filter ก็ใช้ second order active filter ต่อเข้าด้วยกัน ดังรูป



รูปที่ 3.21 แสดง วงจรพื้นฐานของ fourth order low pass filter

จากสมการ 2.3 เราจะได้ว่า

$$K = \frac{u}{R_1 R_2 C C_1}$$

$$a = \frac{1}{R_2 C_1} (1 - \mu) + \frac{1}{R_1 C} + \frac{1}{R_2 C}$$

$$b = \frac{1}{R_1 R_2 C C_1}, \quad \mu = 1 + \frac{R_4}{R_3}$$

เมื่อ u = voltage control voltage source

Mid band gain จะได้ว่า $K/b = \mu$

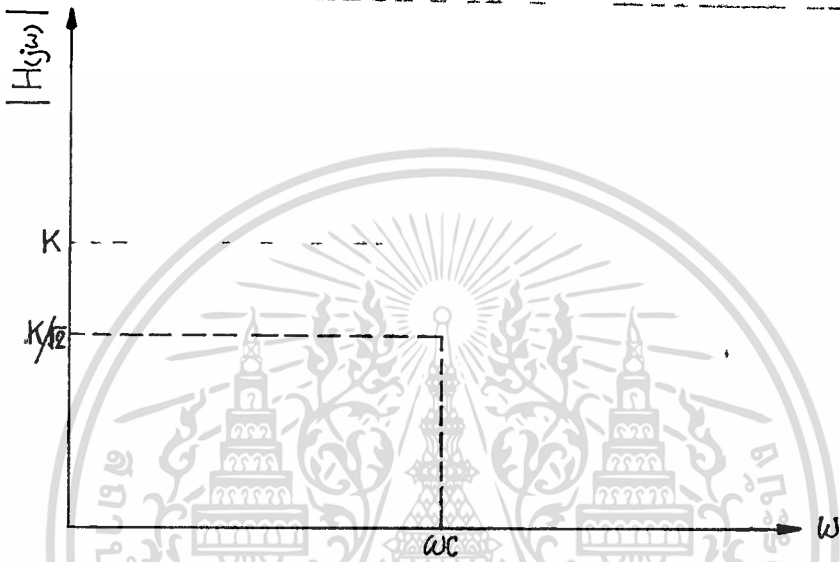
low pass filter มีอยู่หลายแบบ ที่นิยมใช้กันคือ Butterworth และ Chebyshev type ที่สวอนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Low Pass Butterworth Filter

Low pass Butterworth มีลักษณะใกล้เคียงกับ ideal low pass filter ที่มีลักษณะ flat response ซึ่งมี amplitude response คือ

$$H(j\omega) = \frac{K}{\sqrt{1 + (\omega/\omega_c)^{2n}}}$$

เมื่อ n เป็น order ของ filter ซึ่งจะมี plot curve ได้ดังนี้



รูปที่ 3.22 แสดงการเปรียบเทียบ order ต่าง ๆ ของ Butterworth low pass filter

Butterworth Filter มีลักษณะใกล้เคียงกับ ideal filter ซึ่งเรียกว่า Maximally flat, monotonic response, แต่ลักษณะของ out of frequency นั้นไม่ดีเท่า Chebyshev filter ซึ่ง rate ของการ attenuate จะมีค่าเท่ากับ -20 dB/decade ซึ่งเทียบกับ Chebyshev filter จะรู้สึกว่า Chebyshev filter จะดีกว่า

Low Pass Chebyshev Filter

Low pass Chebyshev filter มี amplitude response คือ

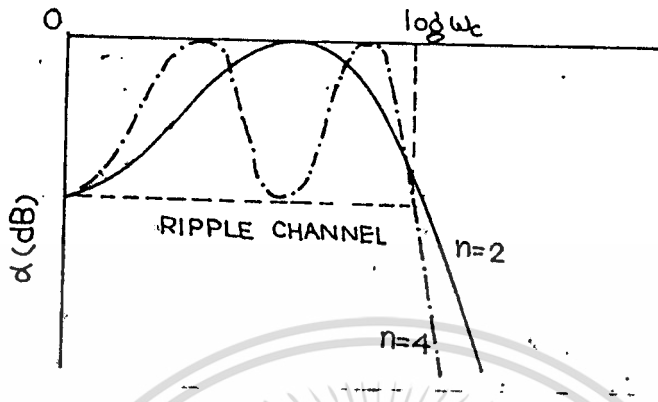
$$H(j\omega) = \frac{K}{\sqrt{1 + E^2 C_n^2 (\omega/\omega_c)}}$$

เมื่อ E เป็นค่า constant

C_n เป็น Chebyshev polynomial of the first kind degree

n, frequency response ของ Chebyshev filter จะมีลักษณะ ripple ดังรูป นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.23 แสดงการเปรียบเทียบ ripple ของ frequency response ใน second order และ fourth order low pass filter

จำนวน ripple ของ frequency response ขึ้นอยู่กับ order ของ filter นั้น ๆ ถ้า E เป็นตัวกำหนดค่าขนาดของ ripple สกตัวอย่าง

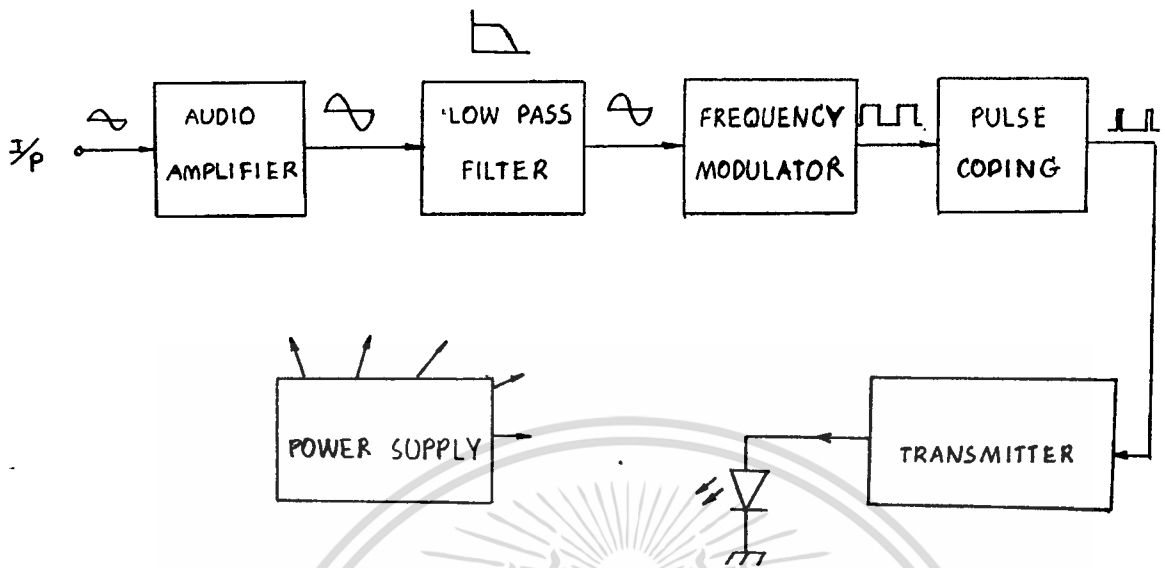
1 dB. Chebyshev low pass filter เป็น low pass filter ที่มี ripple width = 1 dB. แต่นั่นเป็น out off frequency คือเมื่อมี ripple channel = 3 dB.

เราพิจารณา Chebyshev filter เราพิจารณา cut off frequency ที่ 3 dB. Butter-worth filter ในด้าน flat frequency response แต่มีลักษณะดีกว่าใน cut off frequency characteristic

ตัวอย่างเช่น α ใน Chebyshev มีค่าประมาณ $3(n-1)-120\log E$ ต่ำกว่า Butter-worth เมื่อนอก Cut off frequency การ design low pass active filer

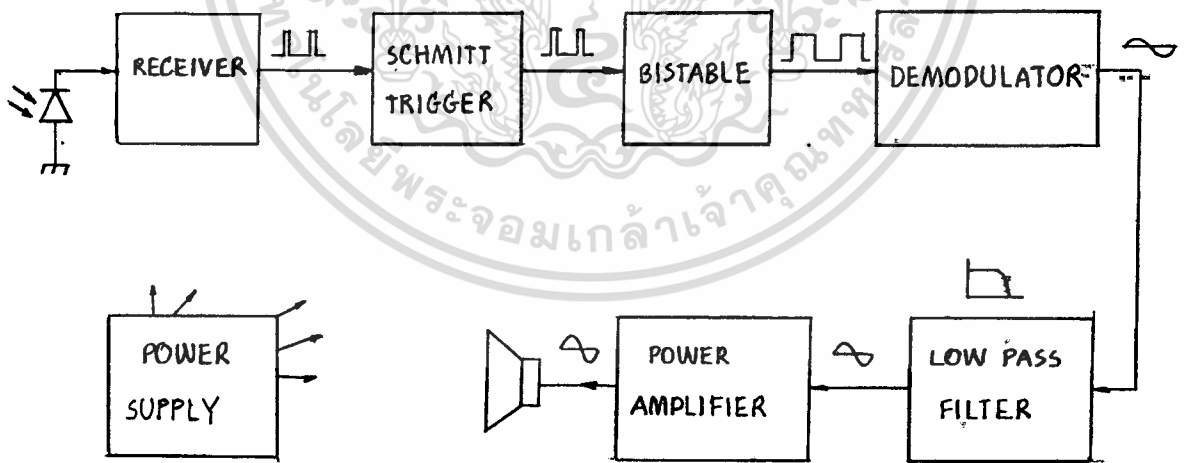
จะใช้ curve ของหนังสือ "Manual of Active Filter Design" ของ Hilburn & Johnson ดังใน appendix เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างของเครื่องส่ง Infrared pulse มีลักษณะตาม block-diagram ดังนี้



แสดง block-diagram ของ transmitter

ส่วน block-diagram ของ receiver มีดังนี้



แสดง block-diagram ของ receiver

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MEASUREMENT AND RESULT

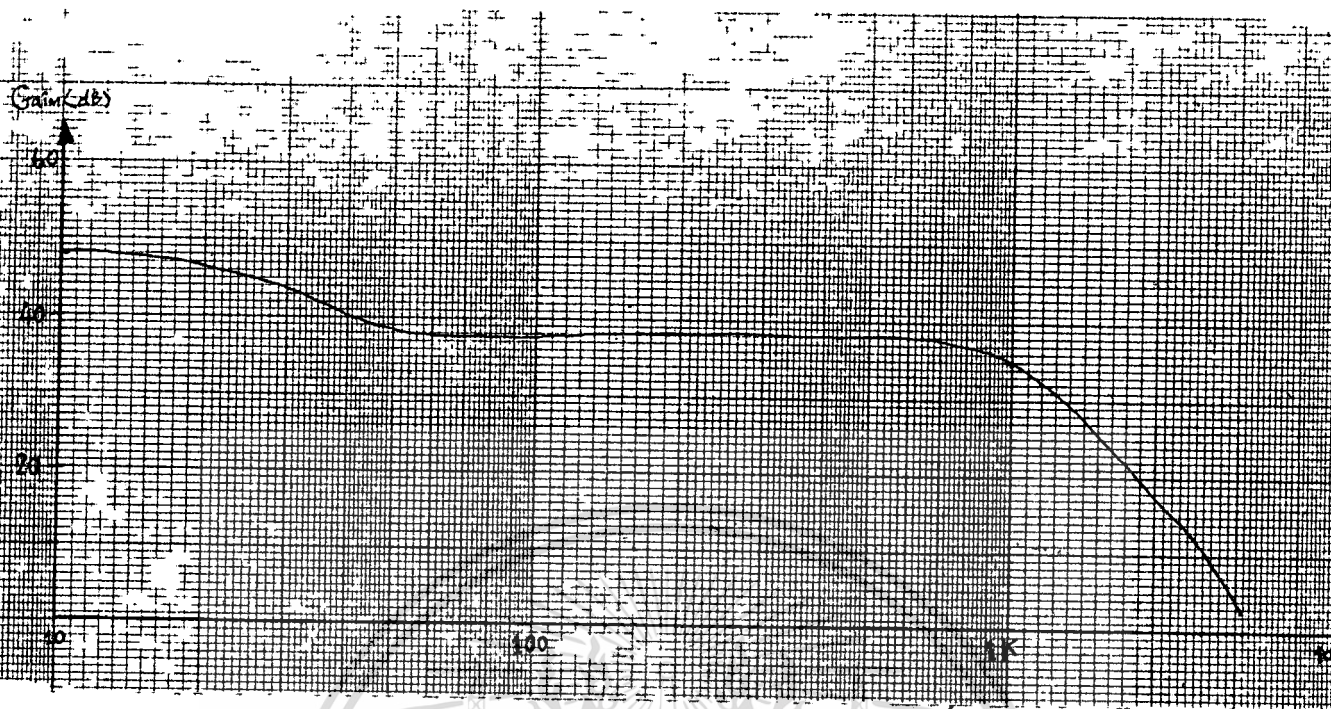
หลังจากที่ได้สร้างและประกอบวงจรของภาคต่าง ๆ ของโครงงาน Infra-red Pulse Communication ทั้งเครื่องรับและเครื่องส่งแล้ว ได้ทำการวัด Frequency Response และ Waveform ที่ Input และ Output ของภาคต่าง ๆ ได้ดังต่อไปนี้

Frequency Response ของ Butterworth Low Pass Filter

Frequency Response ของ Butterworth Low Pass Filter ในเครื่องส่งมีลักษณะดังนี้

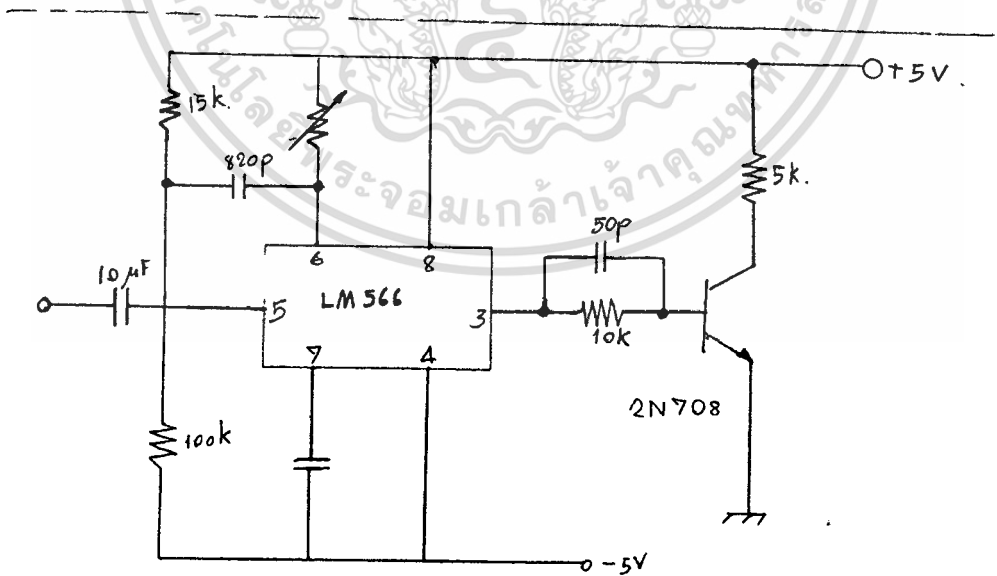
f	V _i	V _o	gain	dB.
10 Hz.	10 mV.	1.1	110	46.8
20 Hz.	10 mV.	1.0	100	46.0
50 Hz.	10 mV.	0.95	95	39.6
100 Hz.	10 mV.	0.85	85	38.6
200 Hz.	10 mV.	0.80	80	38.1
500 Hz.	10 mV.	0.80	80	38.1
1 KHz.	10 mV.	0.5	50	34.0
2 KHz.	10 mV.	0.21	21	26.4
5 KHz.	10 mV.	20 mV.	2	6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

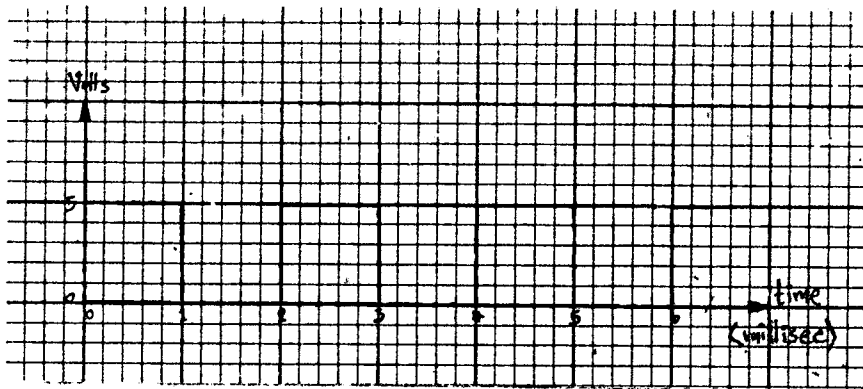


รูปที่ 4.1 Frequency Response Butterworth Low Pass Filter

OUTPUT ของ VCO.

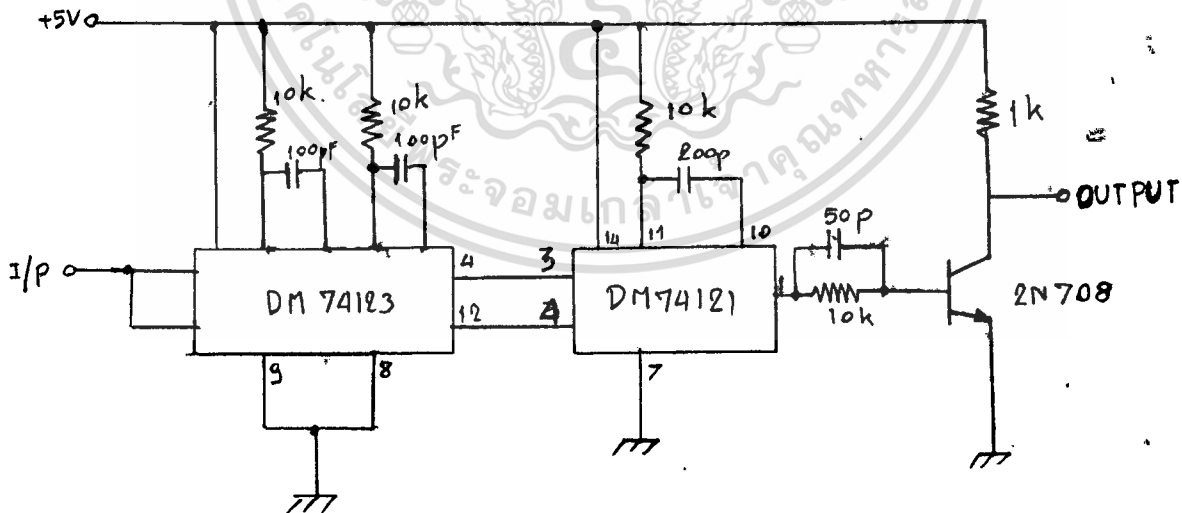


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 4.2 วงจรภาค Modulator นั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



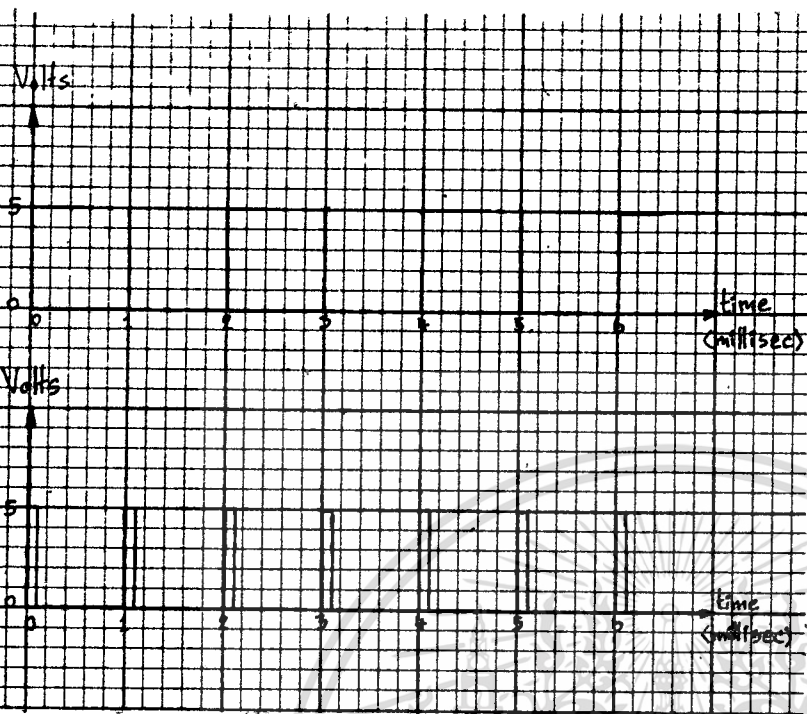
Waveform ที่ได้จริง

OUTPUT จาก Monostable



รูปที่ 4.3 วงจรภาค Coding Circuit

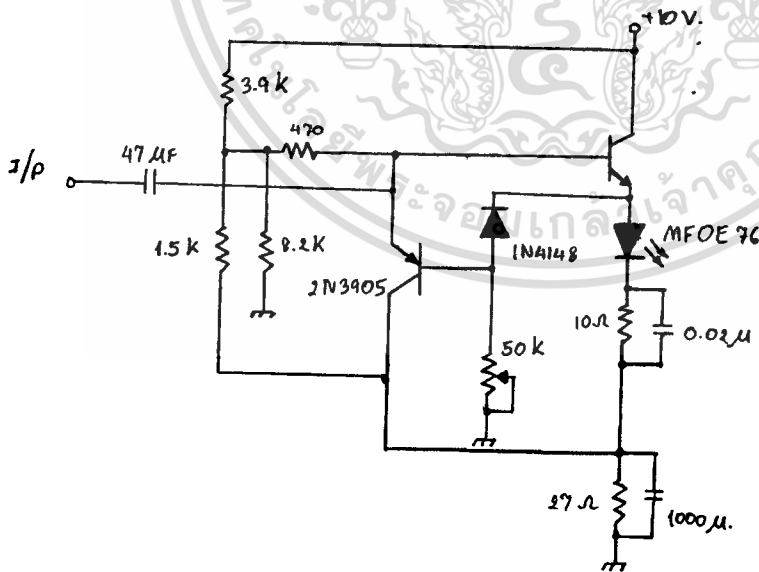
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีให้นำไปใช้



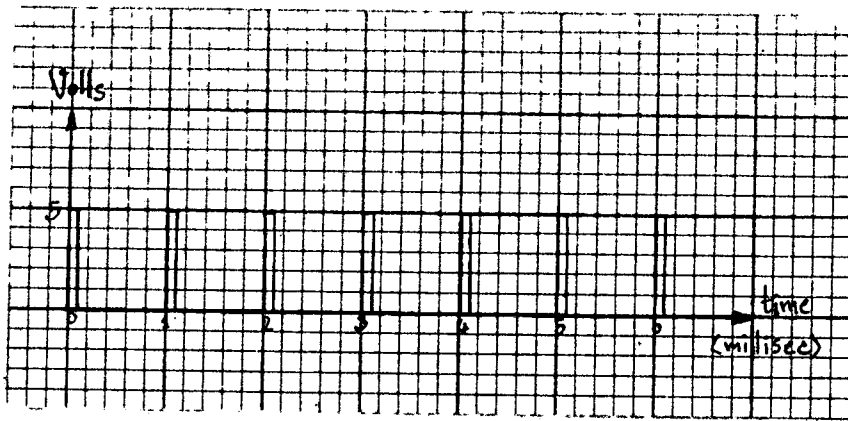
Input Waveform

Output Waveform
ของ Monostable

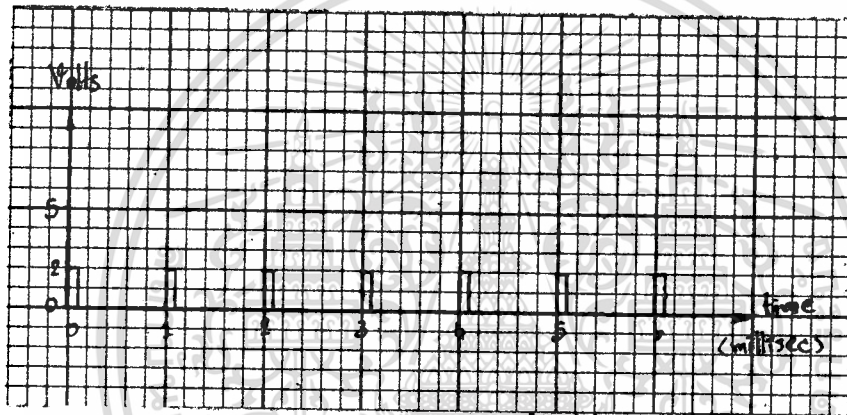
OUTPUT ภาค TRANSMITTER



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับปีที่ 4.14 ซึ่งวงจรรีภาค TRANSMITTER ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Input Waveform

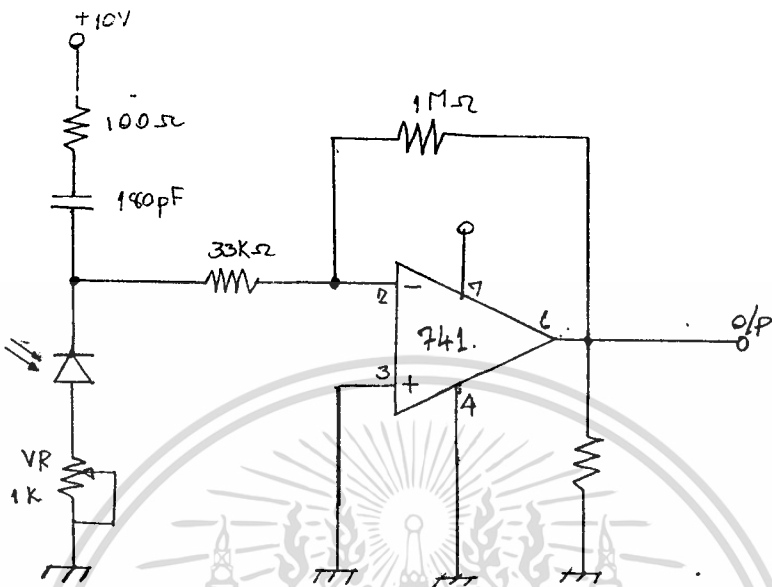


Output Waveform

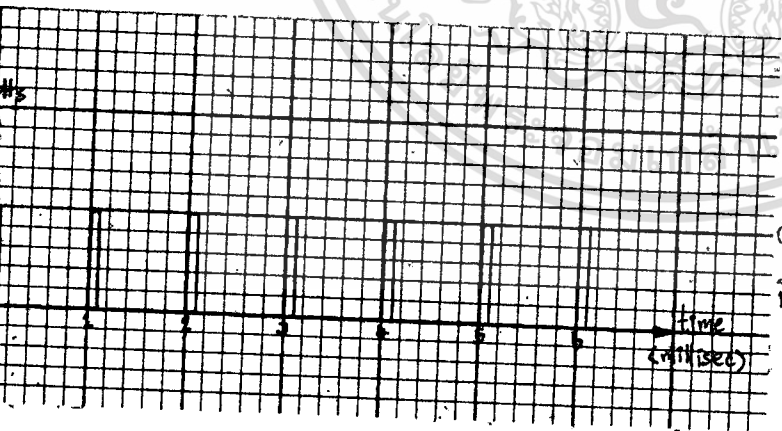
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับเครื่อง Receiver

OUTPUT ของภาค receiver



รูปที่ 4.5 วงจรภาค Receiver

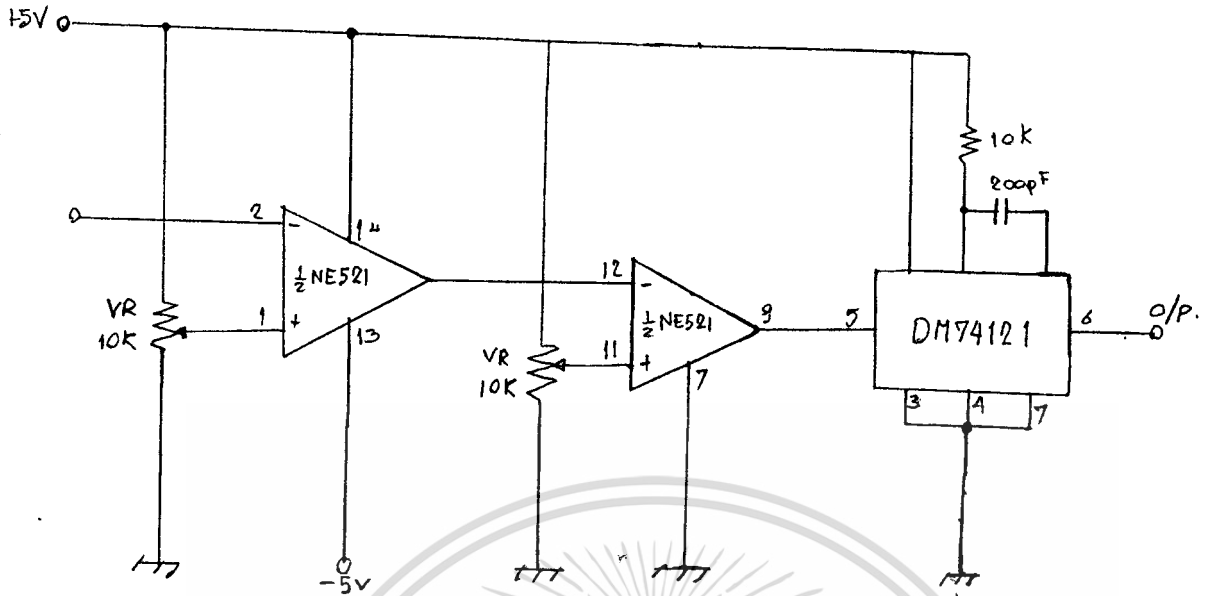


Output Waveform

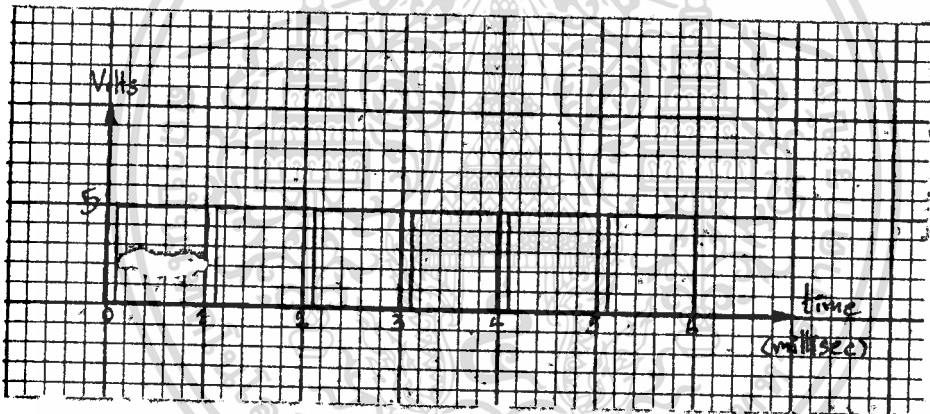
ที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OUTPUT ของภาค Schmitt Trigger



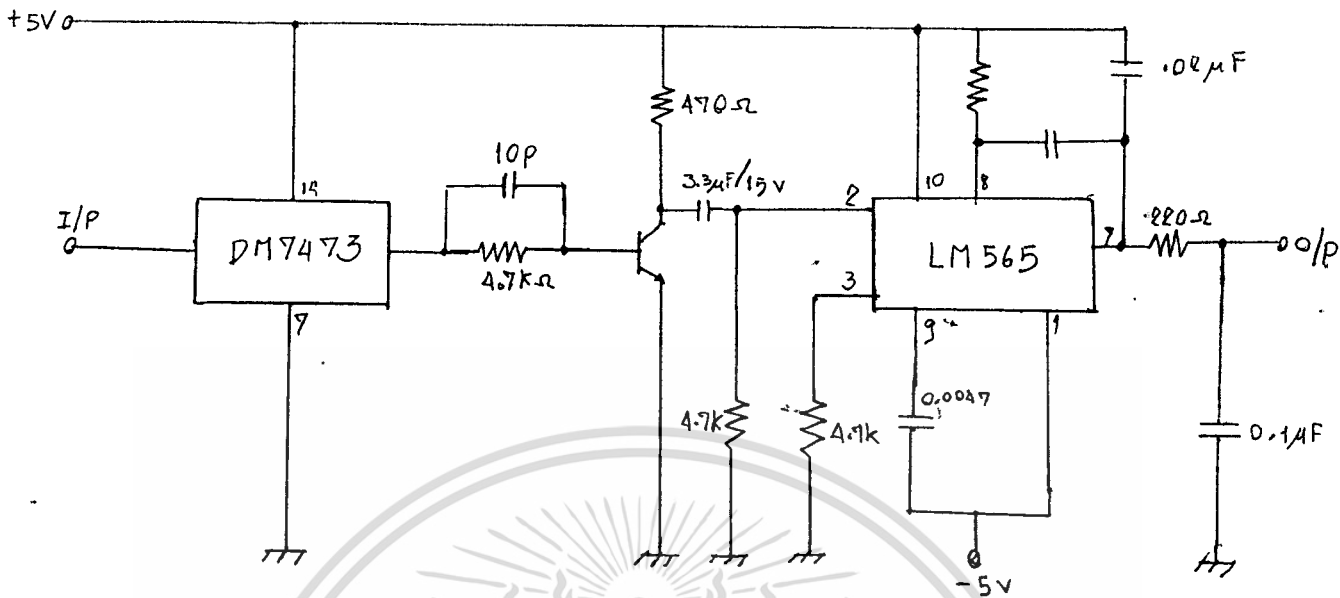
รูปที่ 4.6 วงจรภาค Schmitt Trigger Circuit



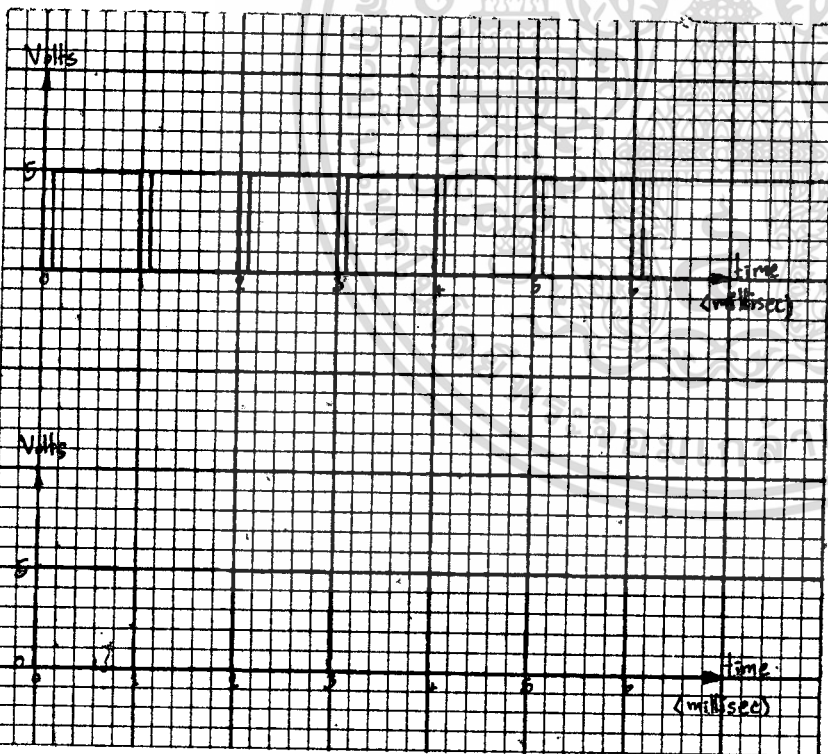
Output Signal ที่ได้รับ จากวงจร Schmitt Trigger

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้.

Bistable & Demodulator



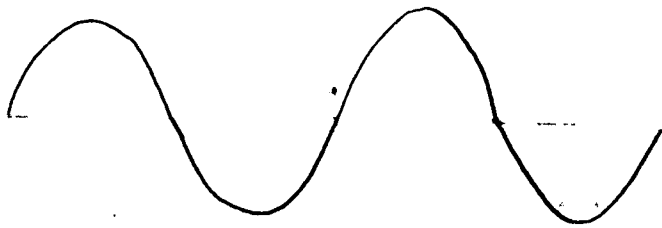
รูปที่ 4.7 วงจรภาค Bistable & Demodulator



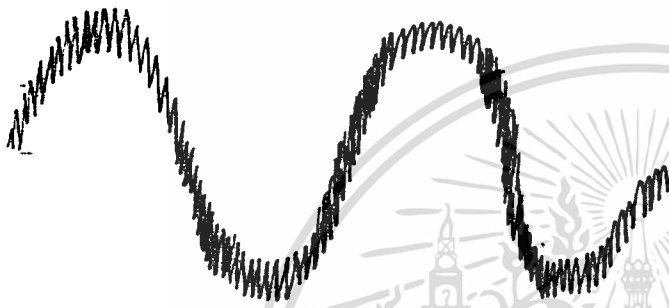
Input Waveform
ที่ป็นจริง

Output Waveform
ที่ได้

เอกสารนี้เป็นสำหรับ OUTPUT Waveform ของ Demodulator นั้น มีสัญญาณที่ออกมา ควรจะได้ การค้ำ Sine Wave เหมือนกับ Signal Input ของเครื่อง Transmitter แต่ เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Output Waveform
ที่ควรจะได้

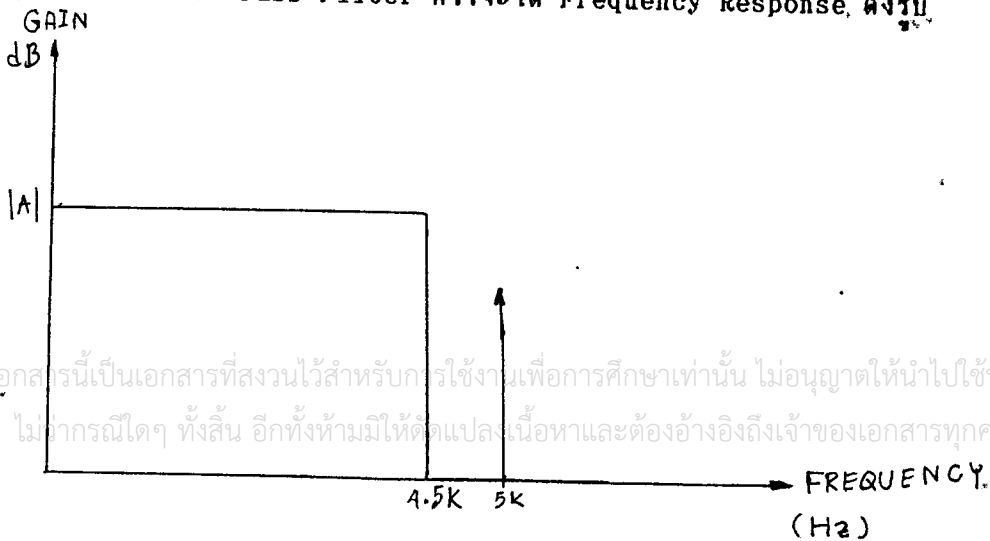


Output Waveform
ที่ได้จริง

Output Waveform ที่ได้รับจะมี Signal ที่มี frequency 5 KHz บน
ออกมาด้วย ถ้าเอา Signal นี้ไปเข้า Power Amplifier โดยตรงก็จะเกิดสัญญาณความถี่สูง
กวนได้ จึงมีความจำเป็นต้องผ่านวงจร Active Filter

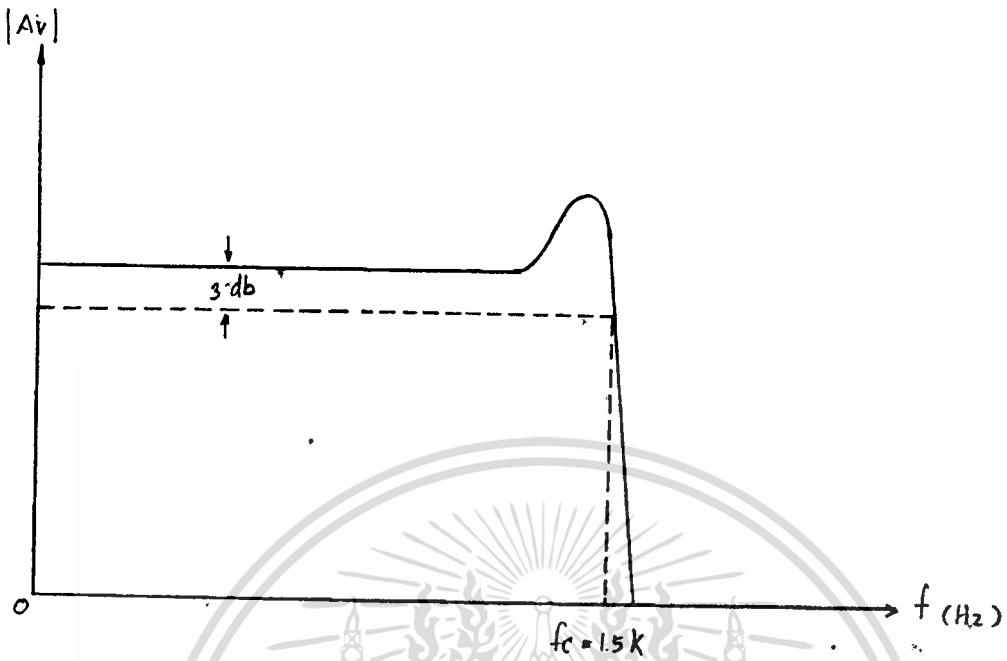
Low Pass Chebyshev Active Filter

สำหรับ วงจร Low Pass Chebyshev Active Filter นี้ได้ออกแบบมาเพื่อที่จะ
Reject สัญญาณ Carrier Signal ซึ่งมีความถี่ประมาณ 5 KHz ออกไป ซึ่ง Frequency
Response ของ Low Pass Filter ควรจะได้ Frequency Response, ดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ทำกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

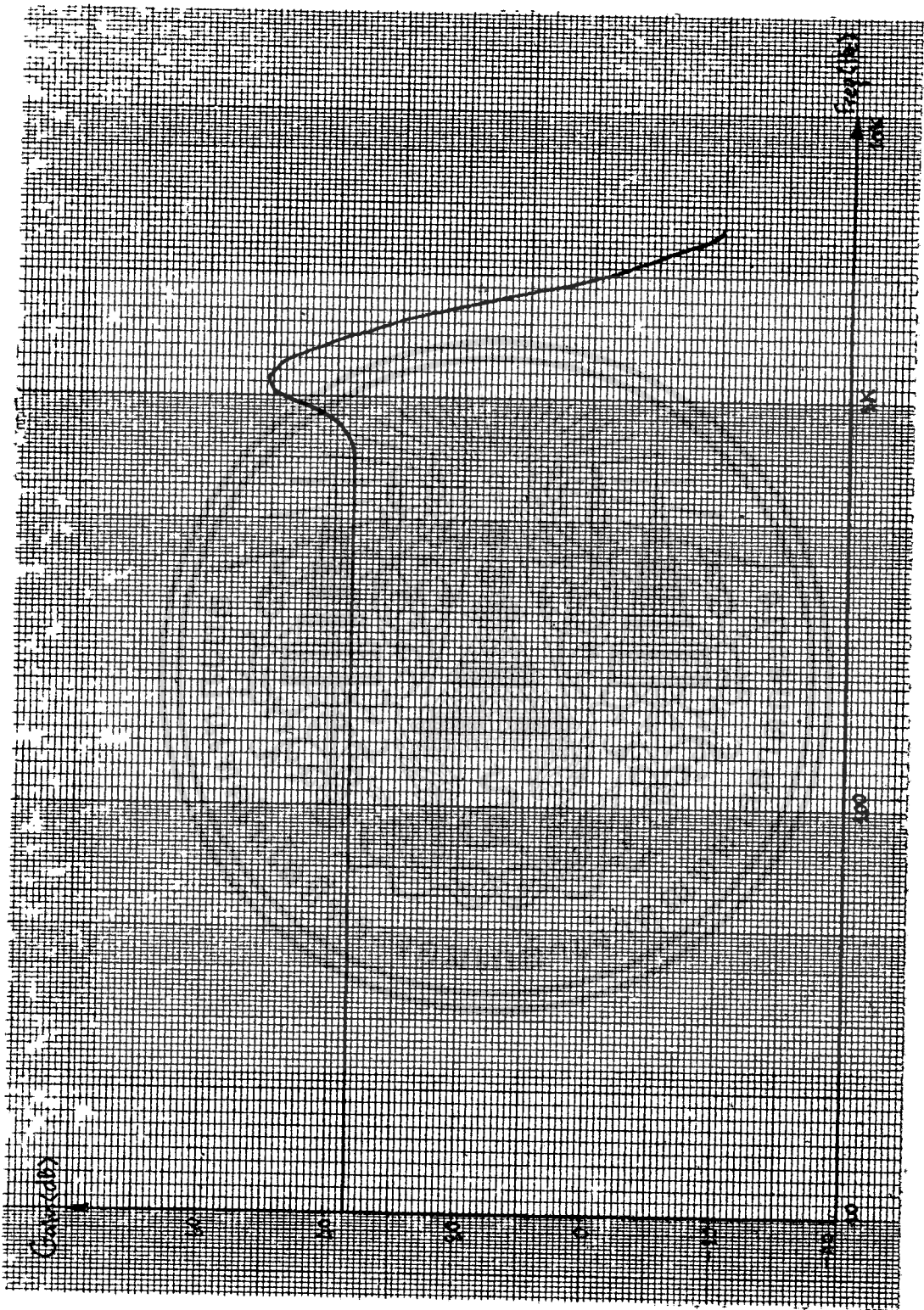
การแสดง Frequency Response ของ Low Pass Active Filter แต่ที่
สามารถทำได้จริง และออกแบบไว้ได้ออกแบบไว้ว่า



แต่ Frequency Response ที่ได้จริง ได้ Frequency Response ดังรูป

f	V_i	V_o	gain	dB.
10	100 mV.	3.8	38	31.6
20	100 mV.	3.8	38	31.6
50	100 mV.	3.8	38	31.6
100	100 mV.	3.8	38	31.6
200	100 mV.	3.8	38	31.6
500	100 mV.	3.8	38	31.6
1 K	100 mV.	4.4	44	32.9
1.4 K	52 mV.	7.2	138	42.8
1.7 K	100 mV.	3.0	30	29.5
2 K	100 mV.	0.55	5.5	14.8
4 K	100 mV.	24 mV.	0.24	-12.4
5 K	100 mV.	10 mV.	0.1	-20.0
10 K	100 mV.			

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่มีการ 10 K ทั้งสิ้น อี 100 mV. ให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



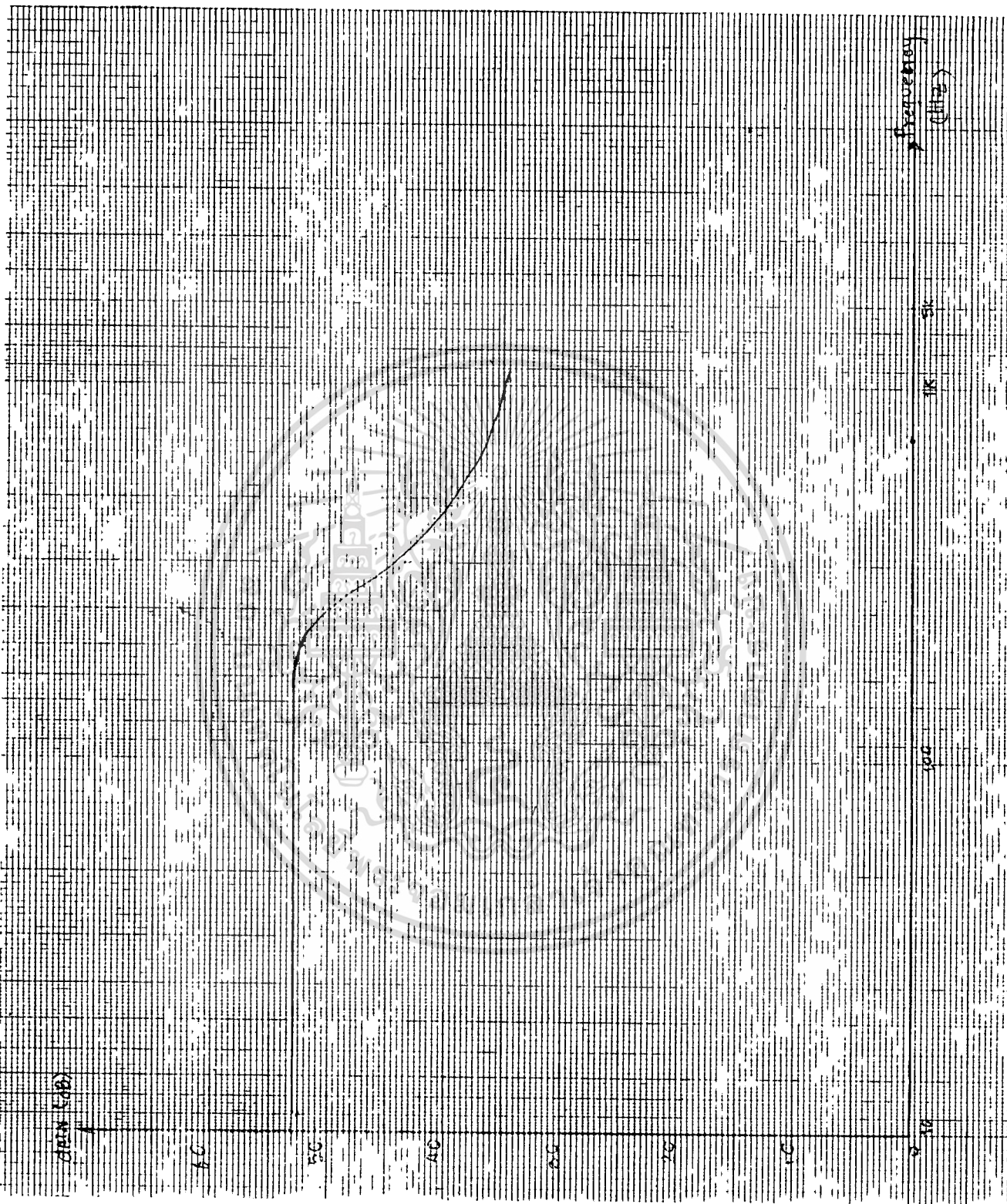
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด **FREQUENCY RESPONSE ของ LOW PASS CHEBYSHEV FILTER** ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับ frequency response ของทั้งหมด (overall frequency response) ได้ดังตารางนี้

f	V_i	V_o	gain	dB
20	4.5 mV	2.00 v	444.44	52.96
50	4.5 mV	2.00 v	444.44	52.96
100	4.5 mV	2.00 v	444.44	52.96
200	4.5 mV	2.00 v	444.44	52.96
400	4.5 mV	2.00 v	444.44	52.96
500	4.5 mV	2.00 v	444.44	52.96
600	4.5 mV	1.90 v	422.22	52.51
700	4.5 mV	1.80 v	400.00	52.04
800	4.5 mV	0.62 v	133.33	42.50
900	4.5 mV	0.40 v	88.89	38.98
1k	4.5 mV	0.26 v	57.78	35.24
1.25k	4.5 mV	0.20 v	44.44	32.96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ plot frequency response ได้ดังรูป



Frequency Response ของทั้งหมด (Overall Frequency Response)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป

โครงการงานชิ้นนี้เป็นโครงการ ค้นคว้า ออกแบบและสร้างเครื่องรับ-ส่งข้อมูลโดยใช้เทคนิคการส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแสงเป็นตัวกลาง (แทนสายเคเบิลที่เป็นโลหะ)

เครื่องรับส่งข้อมูลโดยใช้แสง นี้เป็นไปได้ด้วยดีและสามารถทำให้ได้ตามวัตถุประสงค์ใหญ่ทุกประการ แต่เครื่องยังไม่สมบูรณ์ดีนัก ยังมีสัญญาณกวน (Noise) ปนออกมา Cut off Frequency ยังไม่สูงพอคือมี Frequency Response เพียง 1 KHz เท่านั้น และยังไม่สามารถติดต่อกันได้อย่างสมบูรณ์ การติดต่อยังได้เป็นระยะทางใกล้ เป็นต้น

ถึงแม้ว่า การค้นคว้า ออกแบบ และสร้างเครื่องรับ-ส่ง ผ่านเส้นใยแสงยังไม่สมบูรณ์นัก แต่ก็ยังเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับงาน Project Optical Communication เพื่อที่จะนำไปพัฒนา ต่อไป และจะได้นำคุณสมบัติของแสงมาใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มที่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

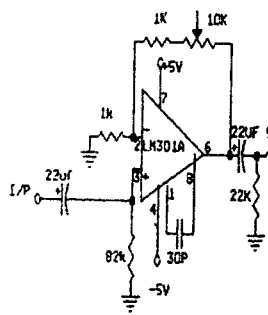
บรรณานุกรม

1. อภิวัฒน์ มัชฌายาภรณ์. "การสื่อสารเส้นใยแสง" คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
2. "คู่มือช่าง ระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง"
ศูนย์การฝึกอบรม องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย.
3. National Semiconductor Staff
"Linear Application Handbook"
National Semiconductor Corporation, Santaclara, CA. 1978
4. National Semiconductor Corporation Staff
"Linear Integrated Circuit Data"
National Semiconductor Corporation, Santaclara, CA. 1978
5. National Semiconductor Corporation Staff
"Digital Integrated Coicuit Data"
National Semiconductor Corporation, Santaclara, CA. 1978

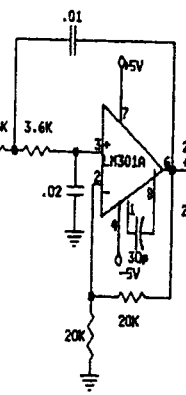
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



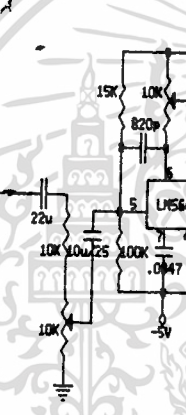
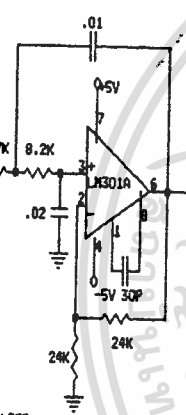
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



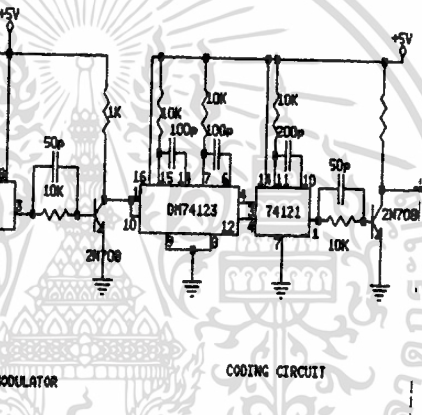
AUDIO AMPLIFIER



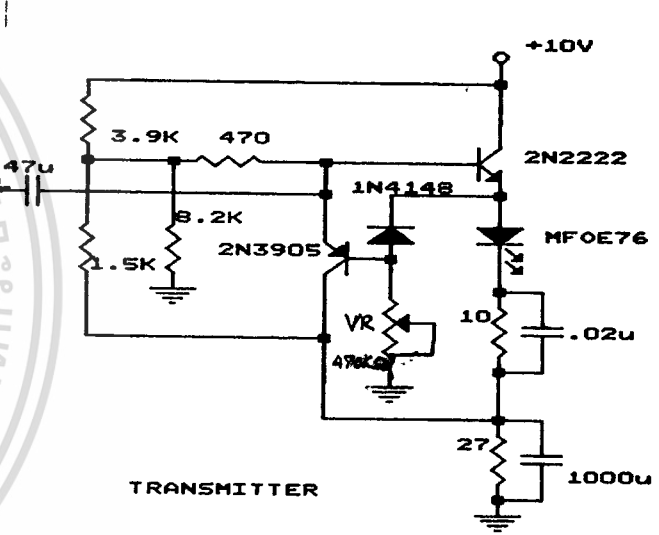
LOW PASS FILTER



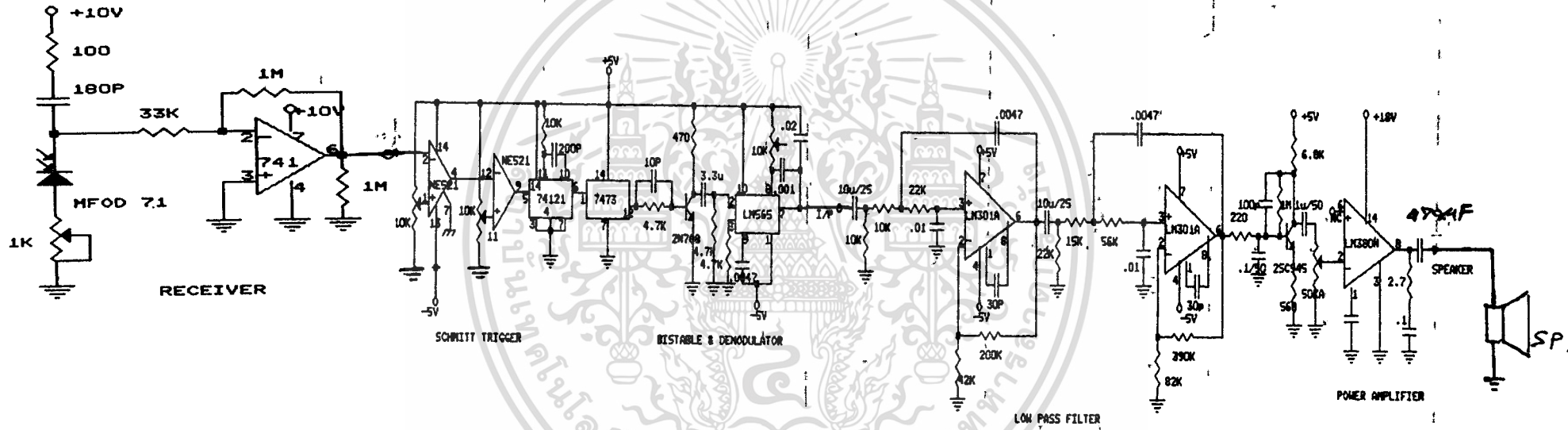
MODULATOR



CODING CIRCUIT



TRANSMITTER



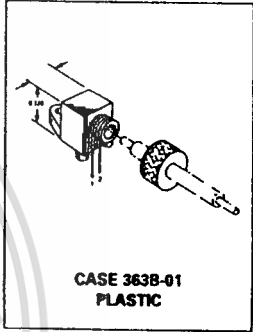
Fiber Optics — FLCS Family

Photo Detector

Diode Output

MFOD71

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

5

MFO71

TYPICAL COUPLED CHARACTERISTICS

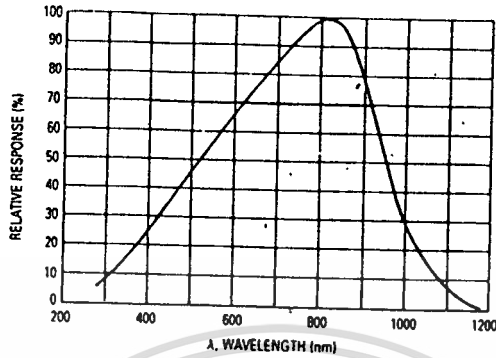


Figure 1. Relative Spectral Response

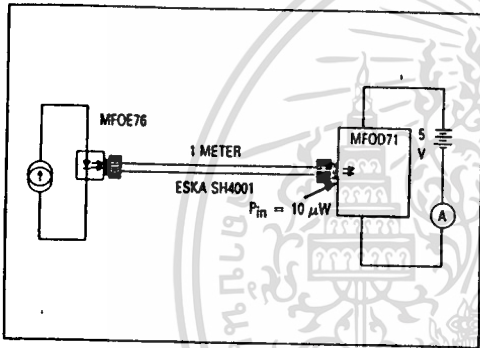


Figure 2. Responsivity Test Configuration

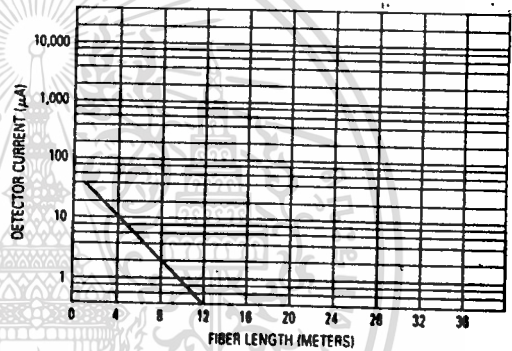


Figure 3. Detector Current versus Fiber Length

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.

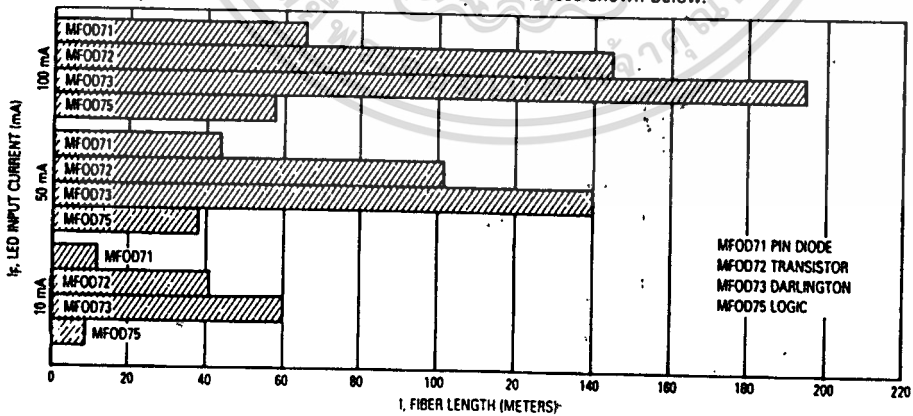


Figure 4. MFOE76 Working Distances

5

MFOD71

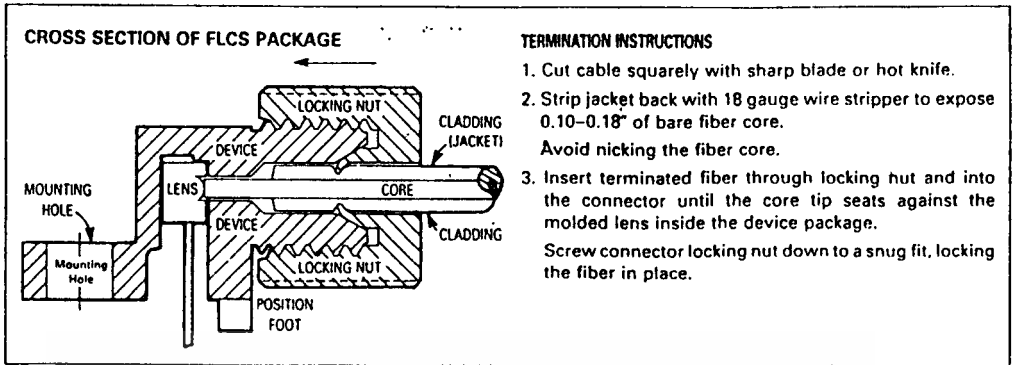


Figure 5. FO Cable Termination and Assembly

INPUT SIGNAL CONDITIONING

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

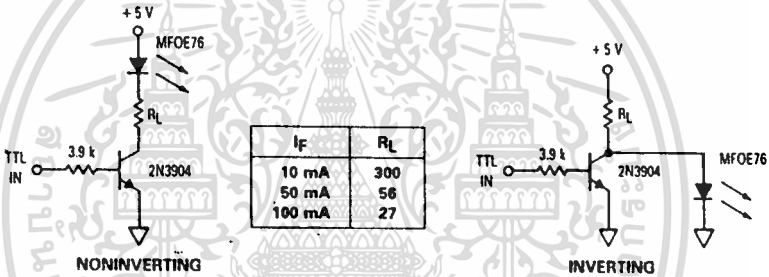
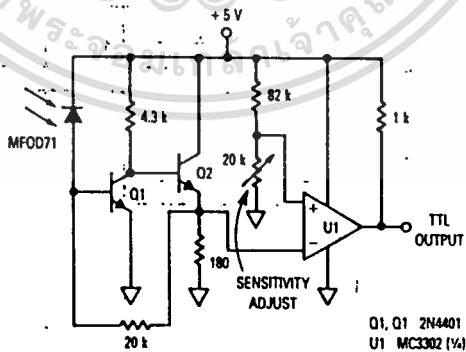


Figure 6. TTL Transmitters

OUTPUT SIGNAL CONDITIONING

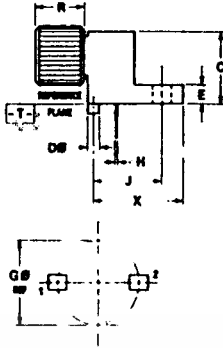
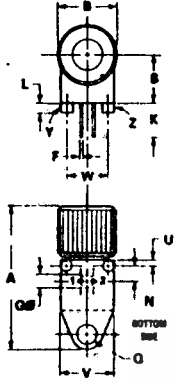
The following circuit is suggested to take the MFOD71 detector output and condition it to drive TTL with an acceptable bit error rate.



1 MHz PIN RECEIVER

Figure 7. TTL Receiver

OUTLINE DIMENSIONS



- NOTES:
1. Y AND Z ARE DATUM DIMENSIONS AND T IS A DATUM SURFACE.
 2. POSITIONAL TOLERANCE FOR D @ (Z PL):
 $\pm 0.25 \text{ (M.010)} \text{ (T) (Y) (Z)}$
 3. POSITIONAL TOLERANCE FOR F DIMENSION (Z PL):
 $\pm 0.25 \text{ (M.010)} \text{ (T) (Y) (Z)}$
 4. POSITIONAL TOLERANCE FOR H DIMENSION (Z PL):
 $\pm 0.25 \text{ (M.010)} \text{ (T) (Y) (Z)}$
 5. POSITIONAL TOLERANCE FOR Q @:
 $\pm 0.25 \text{ (M.010)} \text{ (T) (Y) (Z)}$
 6. POSITIONAL TOLERANCE FOR B:
 $\pm 0.25 \text{ (M.010)} \text{ (T)}$
 7. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
 8. CONTROLLING DIMENSION: INCH.

STYLE 3:
 PIN 1, CATHODE,
 2, ANODE

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	19.20	21.33	0.750	0.840
B	9.14	9.30	0.360	0.370
C	7.62	8.12	0.300	0.320
D	1.50	1.62	0.061	0.064
E	2.41	2.66	0.095	0.105
F	0.43	0.50	0.017	0.020
G	2.54	RSC	0.100	RSC
H	0.33	0.45	0.013	0.018
J	7.62	RSC	0.300	RSC
K	9.91	11.43	0.390	0.450
L	1.24	1.65	0.049	0.065
M	2.54	RSC	0.100	RSC
Q	3.05	3.30	0.120	0.130
R	7.62	8.12	0.300	0.320
S	5.08	RSC	0.200	RSC
U	0.68	0.91	0.026	0.036
V	6.86	7.11	0.270	0.280
W	5.08	RSC	0.200	RSC
X	10.67	11.95	0.420	0.470

CASE 363B-01
 PLASTIC



5

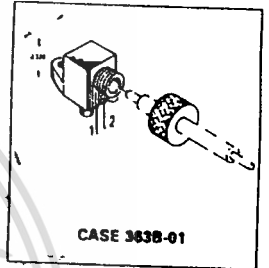
Fiber Optics — FLCS Family Visible Red LED

MFOE76

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

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

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



MAXIMUM RATINGS

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

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

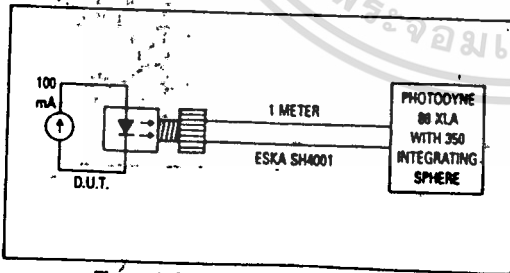


Figure 1. Power Launched Test Setup

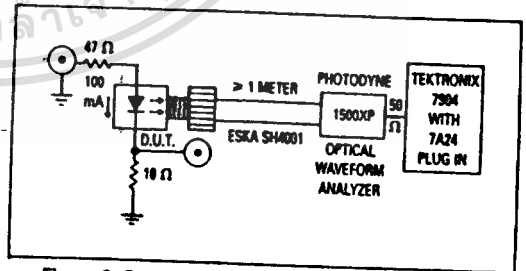


Figure 2. Optical Turn-On and Turn-Off Test Setup

MFOE76

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

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Reverse Leakage Current ($V_R = 3\text{ V}$)	I_R	—	100	—	nA
Reverse Leakage Current ($V_R = 5\text{ V}$)	I_R	—	10	100	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)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Peak Wavelength ($I_F = 60\text{ mA}$)	λ_p	—	660	—	nm
Instantaneous Power Launched ($I_F = 100\text{ mA}$, Figure 1)	P_L	200	540	—	μW
Optical Turn-On Time (Figure 2)	t_{on}	—	200	—	ns
Optical Turn-Off Time (Figure 2)	t_{off}	—	150	—	ns
Half-Power Electrical Bandwidth (f)	BWe	—	6	—	MHz

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

TYPICAL CHARACTERISTICS

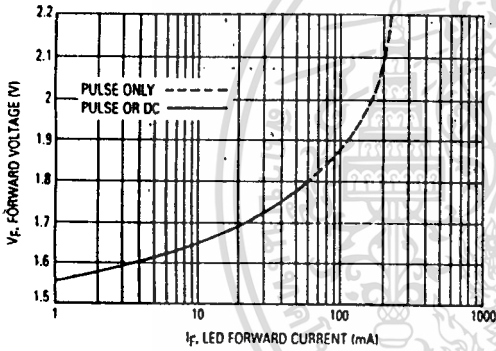


Figure 3. Forward Voltage versus Forward Current

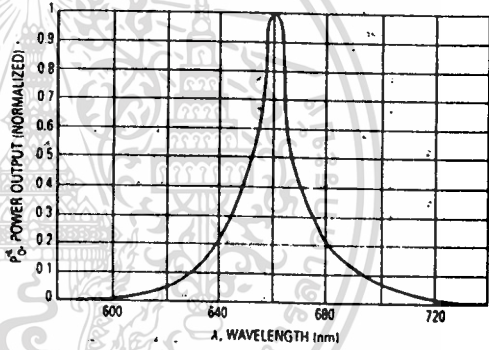


Figure 4. Relative Spectral Output

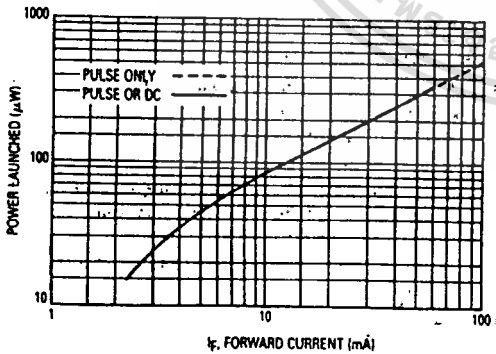


Figure 5. Power Launched versus LED Forward Current

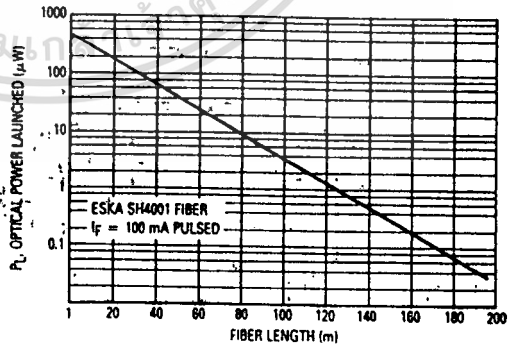
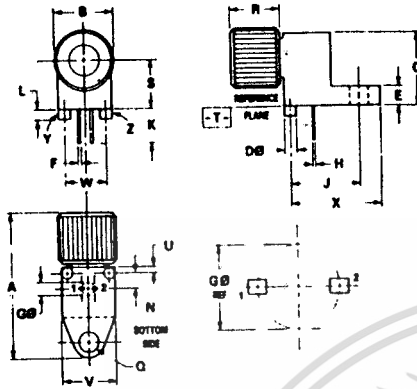


Figure 6. Power Launched versus Fiber Length

MFOE76

OUTLINE DIMENSIONS



- NOTES:
1. Y AND Z ARE DATUM DIMENSIONS AND Y IS A DATUM SURFACE.
 2. POSITIONAL TOLERANCE FOR D @ (Z PL):
 $\text{M} \pm 0.25 \text{ (R.010)} \text{ (T) | Y } \text{ (Z) } \text{ (M)}$
 3. POSITIONAL TOLERANCE FOR F DIMENSION (Z PL):
 $\text{M} \pm 0.25 \text{ (R.010)} \text{ (T) | Y } \text{ (Z) } \text{ (M)}$
 4. POSITIONAL TOLERANCE FOR H DIMENSION (Z PL):
 $\text{M} \pm 0.25 \text{ (R.010)} \text{ (T) | Y } \text{ (Z) } \text{ (M)}$
 5. POSITIONAL TOLERANCE FOR O @:
 $\text{M} \pm 0.25 \text{ (R.010)} \text{ (T) | Y } \text{ (Z) } \text{ (M)}$
 6. POSITIONAL TOLERANCE FOR P:
 $\text{M} \pm 0.25 \text{ (R.010)} \text{ (T) | Y } \text{ (Z) } \text{ (M)}$
 7. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
 8. CONTROLLING DIMENSION: INCH.

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	19.30	21.33	0.760	0.840
B	9.14	9.39	0.360	0.370
C	7.62	0.12	0.300	0.320
D	1.55	1.62	0.061	0.064
E	2.41	2.06	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
M	2.54 BSC		0.100 BSC	
N	3.05	3.30	0.120	0.130
O	7.62	0.12	0.300	0.320
P	5.08 BSC		0.200 BSC	
Q	0.66	0.91	0.026	0.036
R	6.06	7.11	0.270	0.280
S	5.08 BSC		0.200 BSC	
T	10.87	11.55	0.428	0.455

STYLE 1:
 PIN 1, ANODE
 2, CATHODE

CASE 363B-01
 PLASTIC



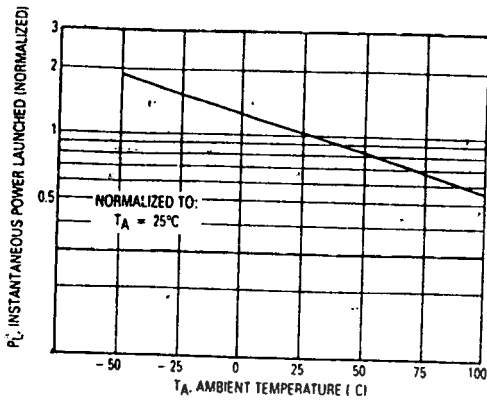


Figure 7. Instantaneous Power Output versus Ambient Temperature

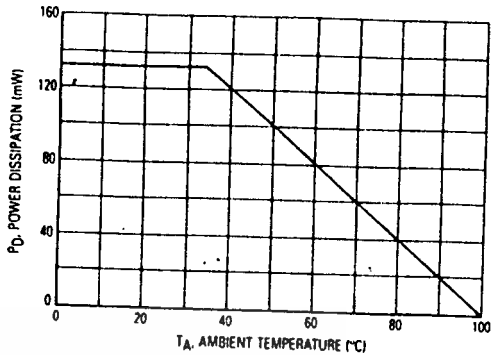


Figure 8. Power Dissipation

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

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

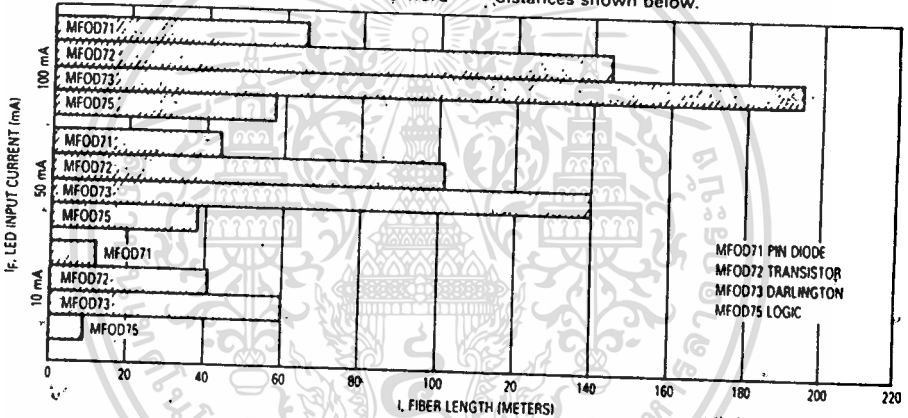


Figure 9. MFOE76 Working Distances

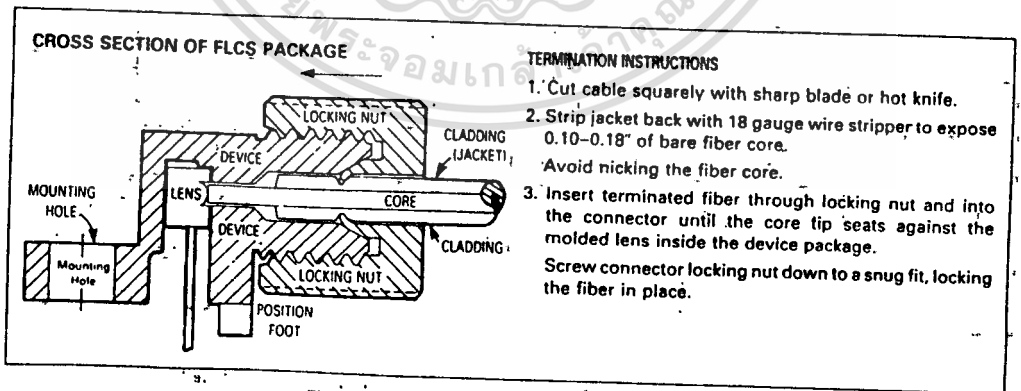


Figure 10. FO Cable Termination and Assembly



LM380 Audio Power Amplifier

General Description

The LM380 is a power audio amplifier for consumer application. In order to hold system cost to a minimum, gain is internally fixed at 34 dB. A unique input stage allows inputs to be ground referenced. The output is automatically self centering to one half the supply voltage.

The output is short circuit proof with internal thermal limiting. The package outline is standard dual-in-line. A copper lead frame is used with the center three pins on either side comprising a heat sink. This makes the device easy to use in standard p-c layout.

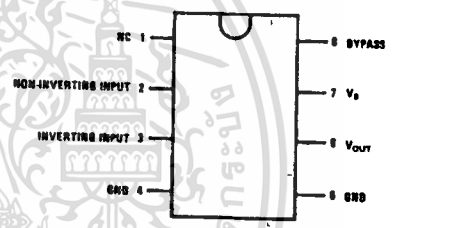
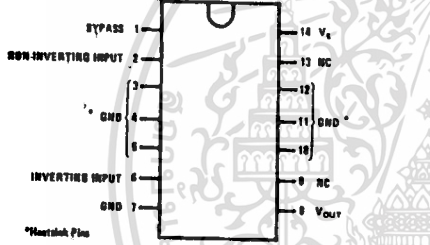
Uses include simple phonograph amplifiers, intercoms, line drivers, teaching machine outputs, alarms, ultrasonic drivers, TV sound systems, AM-FM radio, small servo drivers, power converters, etc.

A selected part for more power on higher supply voltages is available as the LM384. For more information see AN-69.

Features

- Wide supply voltage range
- Low quiescent power drain
- Voltage gain fixed at 50
- High peak current capability
- Input referenced to GND
- High input impedance
- Low distortion
- Quiescent output voltage is at one-half of the supply voltage
- Standard dual-in-line package

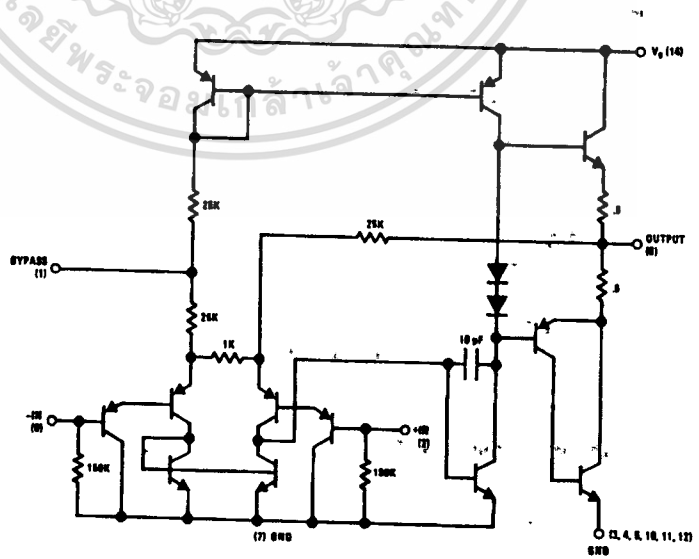
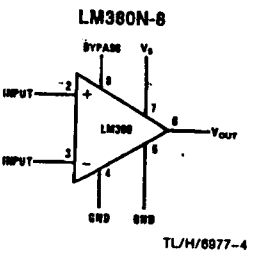
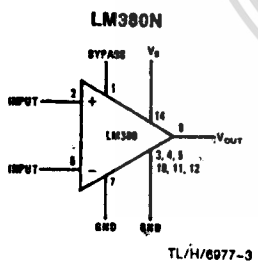
Connection Diagrams (Dual-In-Line Packages, Top View)



Order Number LM380N
See NS Package Number N14A

Order Number LM380N-8
See NS Package Number N08E

Block and Schematic Diagrams



Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage	22V
Peak Current	1.3A
Package Dissipation 14-Pin DIP (Notes 6 and 7)	8.3W
Package Dissipation 8-Pin DIP (Notes 6 and 7)	1.67W

Input Voltage	±0.5V
Storage Temperature	-65°C to +150°C
Operating Temperature	0°C to +70°C
Junction Temperature	+150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 sec.)	+260°C
ESD rating to be determined	

Electrical Characteristics (Note 1)

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
$P_{OUT(RMS)}$	Output Power	$R_L = 8\Omega$, THD = 3% (Notes 3, 4)	2.5			W
A_V	Gain		40	50	60	V/V
V_{OUT}	Output Voltage Swing	$R_L = 8\Omega$		14		V_{p-p}
Z_{IN}	Input Resistance			150k		Ω
THD	Total Harmonic Distortion	(Notes 4, 5)		0.2		%
PSRR	Power Supply Rejection Ratio	(Note 2)		38		dB
V_S	Supply Voltage		10		22	V
BW	Bandwidth	$P_{OUT} = 2W$, $R_L = 8\Omega$		100k		Hz
I_Q	Quiescent Supply Current			7	25	mA
V_{OUTQ}	Quiescent Output Voltage		8	9.0	10	V
I_{BIAS}	Bias Current	Inputs Floating		100		nA
I_{SC}	Short Circuit Current			1.3		A

Note 1: $V_S = 18V$ and $T_A = 25^\circ C$ unless otherwise specified.

Note 2: Rejection ratio referred to the output with $C_{BYPASS} = 5 \mu F$.

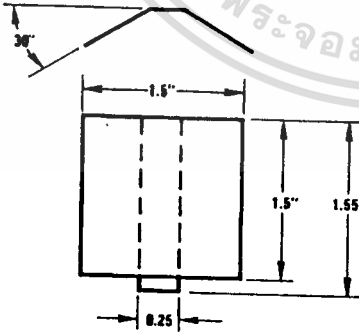
Note 3: With device Pins 3, 4, 5, 10, 11, 12 soldered into a $1/16"$ epoxy glass board with 2 ounce copper foil with a minimum surface of 6 square inches.

Note 4: $C_{BYPASS} = 0.47 \mu F$ on Pin 1.

Note 5: The maximum junction temperature of the LM380 is $150^\circ C$.

Note 6: The package is to be derated at $15^\circ C/W$ junction to heat sink pins for 14-pin pkg; $75^\circ C/W$ for 8-pin.

Heat Sink Dimensions

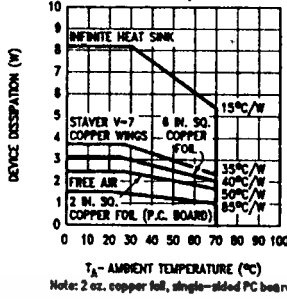


Staver Heat Sink #V-7
 Staver Company
 41 Saxon Ave.
 P.O. Drawer H
 Bayshore, NY 11706
 Tel: (516) 666-8000
 Copper Wings
 2 Required
 Soldered to
 Pins 3, 4, 5,
 10, 11, 12
 Thickness 0.04
 Inches

TL/H/6077-6

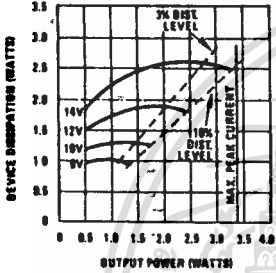
Typical Performance Characteristics

Maximum Device Dissipation vs Ambient Temperature

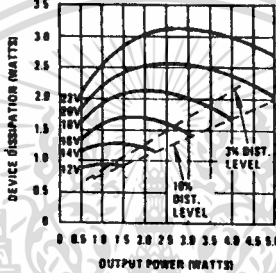


TL/H/6977-12

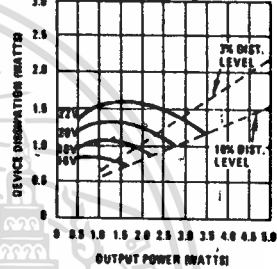
Device Dissipation vs Output Power—4 Ω Load



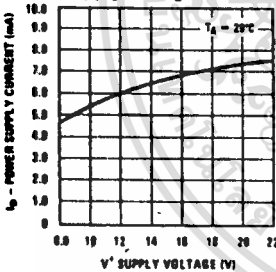
Device Dissipation vs Output Power—8 Ω Load



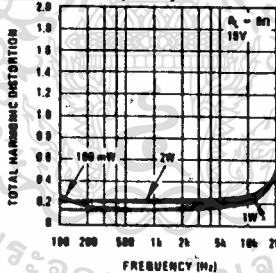
Device Dissipation vs Output Power—16 Ω Load



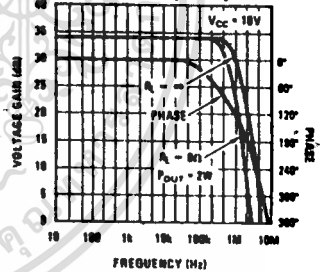
Power Supply Current vs Supply Voltage



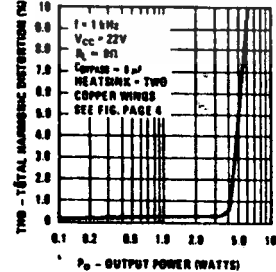
Total Harmonic Distortion vs Frequency



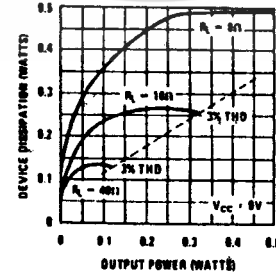
Output Voltage Gain and Phase vs Frequency



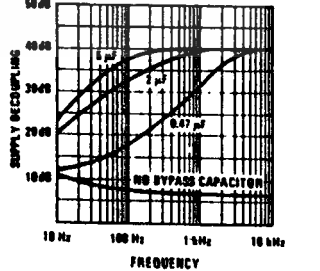
Total Harmonic Distortion vs Output Power



Device Dissipation vs Output Power



Supply Decoupling vs Frequency



TL/H/6977-7

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 $+125^{\circ}\text{C}$ military temperature range. The LM565CH and LM565CN are specified for operation over the 0°C to $+70^{\circ}\text{C}$ temperature range.

Features

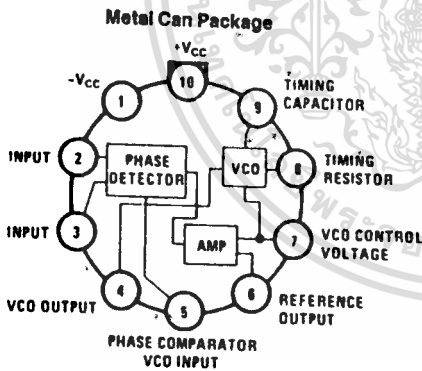
- 200 ppm/ $^{\circ}\text{C}$ frequency stability of the VCO
- Power supply range of ± 5 to ± 12 volts with 100 ppm/% typical
- 0.2% linearity of demodulated output

- Linear triangle wave with in phase zero crossings available
- TTL and DTL compatible phase detector input and square wave output
- Adjustable hold in range from $\pm 1\%$ to $> \pm 60\%$

Applications

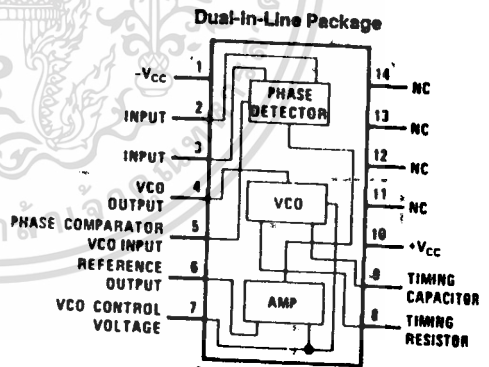
- Data and tape synchronization
- Modems
- FSK demodulation
- FM demodulation
- Frequency synthesizer
- Tone decoding
- Frequency multiplication and division
- SCA demodulators
- Telemetry receivers
- Signal regeneration
- Coherent demodulators

Connection Diagrams



TL/H/7853-2

Order Number LM565H or LM565CH
See NS Package Number H10C



TL/H/7853-3

Order Number LM565CN
See NS Package Number N14A

Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage $\pm 12V$
 Power Dissipation (Note 1) 1400 mW
 Differential Input Voltage $\pm 1V$

Operating Temperature Range
 LM565H $-55^{\circ}C$ to $+125^{\circ}C$
 LM565CH, LM565CN $0^{\circ}C$ to $+70^{\circ}C$
 Storage Temperature Range $-65^{\circ}C$ to $+150^{\circ}C$
 Lead Temperature (Soldering, 10 sec.) $260^{\circ}C$

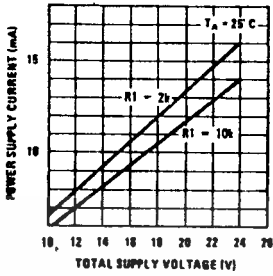
Electrical Characteristics AC Test Circuit, $T_A = 25^{\circ}C$, $V_{CC} = \pm 6V$

Parameter	Conditions	LM565			LM565C			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Power Supply Current			8.0	12.5		8.0	12.5	mA
Input Impedance (Pins 2, 3)	$-4V < V_2, V_3 < 0V$	7	10			5		k Ω
QO Maximum Operating Frequency	$C_o = 2.7$ pF	300	500		250	500		kHz
QO Free-Running Frequency	$C_o = 1.5$ nF $R_o = 20$ k Ω $f_o = 10$ kHz	-10	0	+10	-30	0	+30	%
Operating Frequency Temperature Coefficient			-100			-200		ppm/ $^{\circ}C$
Frequency Drift with Supply Voltage			0.1	1.0		0.2	1.5	%/V
Triangle Wave Output Voltage		2	2.4	3	2	2.4	3	V _{p-p}
Triangle Wave Output Linearity			0.2			0.5		%
Square Wave Output Level		4.7	5.4		4.7	5.4		V _{p-p}
Input Impedance (Pin 4)			5			5		k Ω
Square Wave Duty Cycle		45	50	55	40	50	60	%
Square Wave Rise Time			20			20		ns
Square Wave Fall Time			50			50		ns
Input Current Sink (Pin 4)		0.6	1		0.6	1		mA
QO Sensitivity	$f_o = 10$ kHz		6600			6600		Hz/V
Modulated Output Voltage (Pin 7)	$\pm 10\%$ Frequency Deviation	250	300	400	200	300	450	mV _{p-p}
Total Harmonic Distortion	$\pm 10\%$ Frequency Deviation		0.2	0.75		0.2	1.5	%
Input Impedance (Pin 7)			3.5			3.5		k Ω
DC Level (Pin 7)		4.25	4.5	4.75	4.0	4.5	5.0	V
Input Offset Voltage $ V_7 - V_6 $			30	100		50	200	mV
Temperature Drift of $ V_7 - V_6 $			500			500		$\mu V/^{\circ}C$
CM Rejection		30	40			40		dB
Phase Detector Sensitivity K_D			.68			.68		V/radian

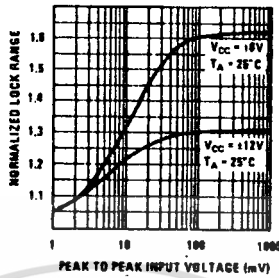
Note 1: The maximum junction temperature of the LM565 and LM565C is $+150^{\circ}C$. For operation at elevated temperatures, devices in the TO-6 package must be tested based on a thermal resistance of $+150^{\circ}C/W$ junction to ambient or $+45^{\circ}C/W$ junction to case. Thermal resistance of the dual-in-line package is $-8^{\circ}C/W$.

Typical Performance Characteristics

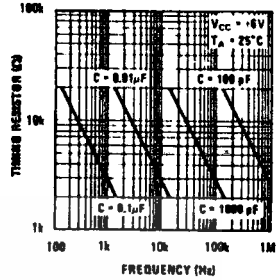
Power Supply Current as a Function of Supply Voltage



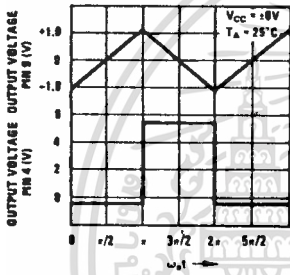
Lock Range as a Function of Input Voltage



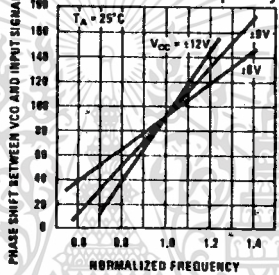
VCO Frequency



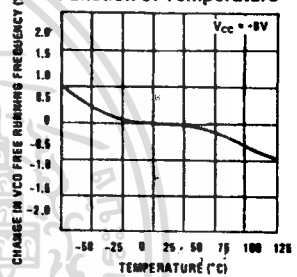
Oscillator Output Waveforms



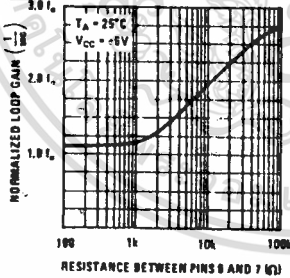
Phase Shift vs Frequency



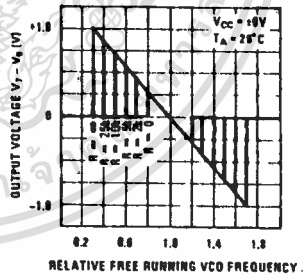
VCO Frequency as a Function of Temperature



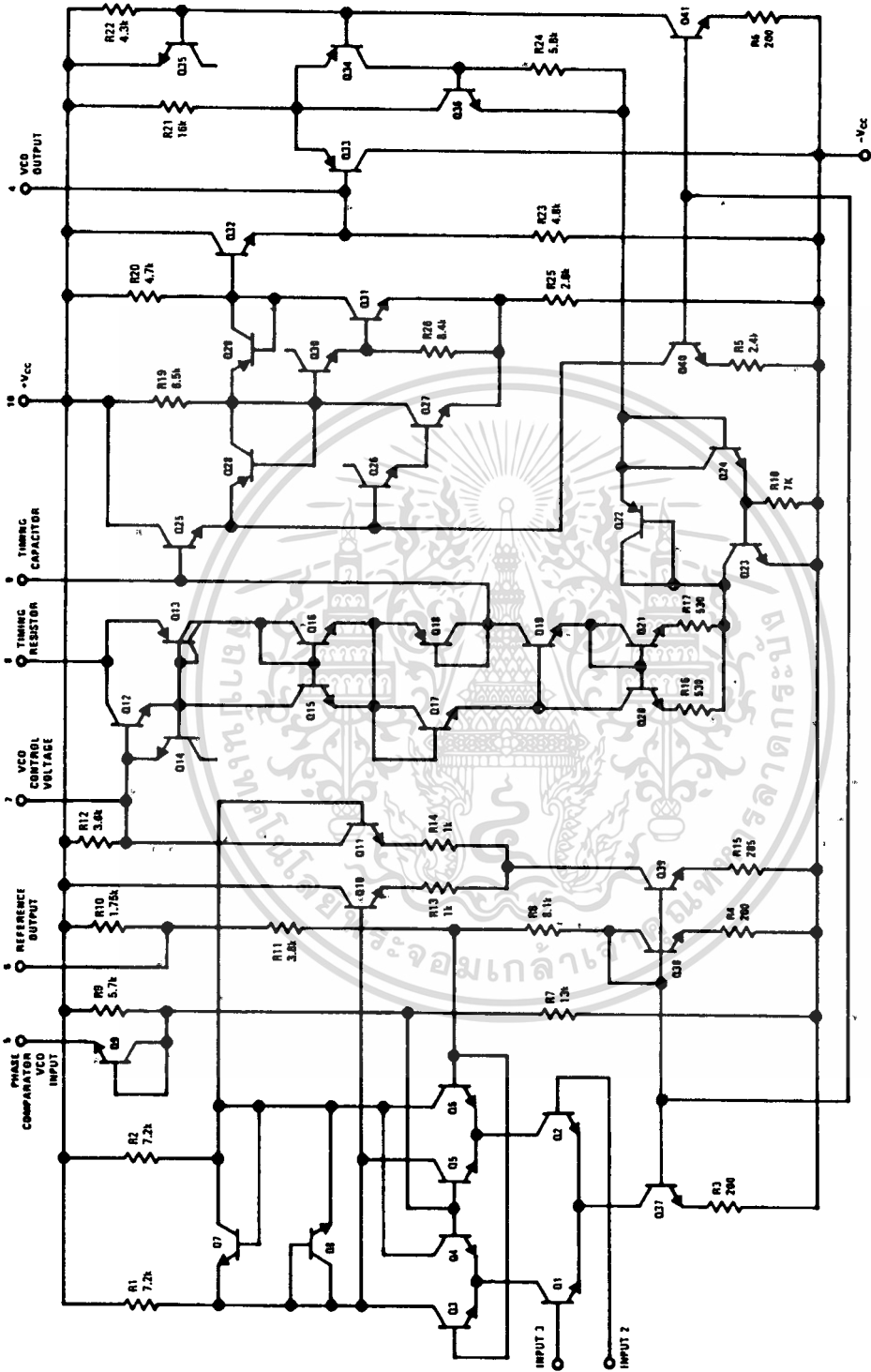
Loop Gain vs Load Resistance



Hold in Range as a Function of R6-7



Schematic Diagram



TL/H/7653-1

LM565/LM555C

Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Power Supply Voltage	26V
Power Dissipation (Note 1)	1000 mW
Operating Temperature Range, LM566CN	0°C to +70°C
Lead Temperature (Soldering, 10 sec.)	+260°C

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

Parameter	Conditions	LM566C			Units
		Min	Typ	Max	
Maximum Operating Frequency	$R_O = 2k$ $C_O = 2.7 pF$	0.5	1		MHz
VCO Free-Running Frequency	$C_O = 1.5 nF$ $R_O = 20k$ $f_O = 10 kHz$	-30	0	+30	%
Input Voltage Range Pin 5		$\frac{3}{4} V_{CC}$		V_{CC}	
Average Temperature Coefficient of Operating Frequency			200		ppm/°C
Supply Voltage Rejection	10-20V		0.1	2	%/V
Input Impedance Pin 5		0.5	1		M Ω
VCO Sensitivity	For Pin 5, From 8-10V, $f_O = 10 kHz$	6.0	6.6	7.2	kHz/V
FM Distortion	$\pm 10\%$ Deviation		0.2	1.5	%
Maximum Sweep Rate			1		MHz
Sweep Range			10:1		
Output Impedance Pin 3			50		Ω
Pin 4			50		Ω
Square Wave Output Level	$R_{L1} = 10k$	5.0	5.4		Vp-p
Triangle Wave Output Level	$R_{L2} = 10k$	2.0	2.4		Vp-p
Square Wave Duty Cycle		40	50	60	%
Square Wave Rise Time			20		ns
Square Wave Fall Time			60		ns
Triangle Wave Linearity	+1V Segment at $\frac{1}{2} V_{CC}$		0.5		%

Note 1: The maximum junction temperature of the LM566CN is 150°C. For operation at elevated junction temperatures, maximum power dissipation must be derated based on a thermal resistance of 115°C/W, junction to ambient.

Applications Information

The LM566CN may be operated from either a single supply as shown in this test circuit, or from a split (\pm) power supply. When operating from a split supply, the square wave output (pin 3) is TTL compatible (2 mA current sink) with the addition of a 4.7 k Ω resistor from pin 3 to ground.

A 0.001 μF capacitor is connected between pins 5 and 6 to prevent parasitic oscillations that may occur during VCO switching.

$$f_O = \frac{2.4(V^+ - V_5)}{R_O C_O V^+}$$

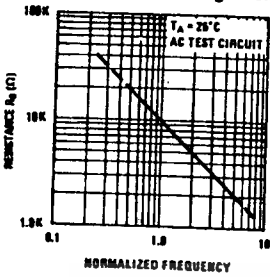
where

$$2K < R_O < 20K$$

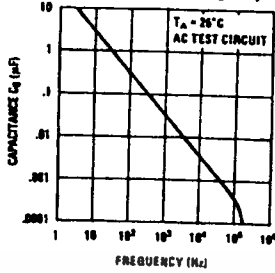
and V_5 is voltage between pin 5 and pin 1.

Typical Performance Characteristics

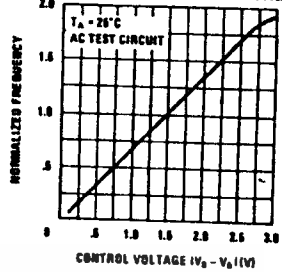
Operating Frequency as a Function of Timing Resistor



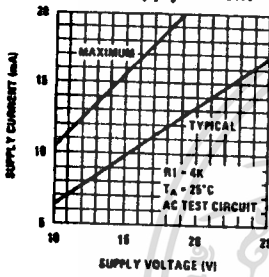
Operating Frequency as a Function of Timing Capacitor



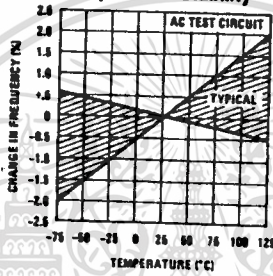
Normalized Frequency as a Function of Control Voltage



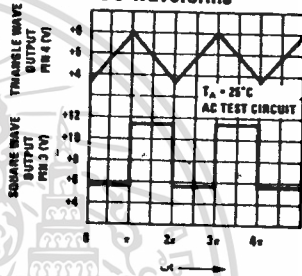
Power Supply Current



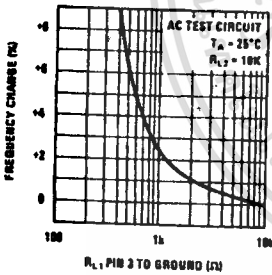
Temperature Stability



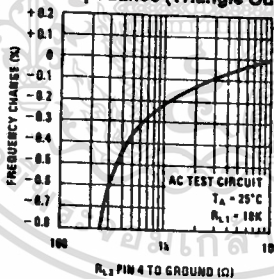
VCO Waveforms



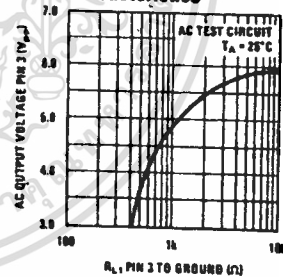
Frequency Stability vs Load Resistance (Square Wave Output)



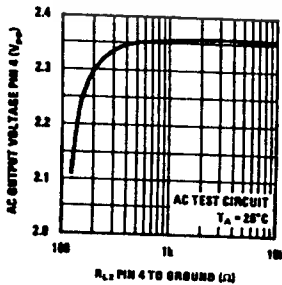
Frequency Stability vs Load Impedance (Triangle Output)



Square Wave Output Characteristics

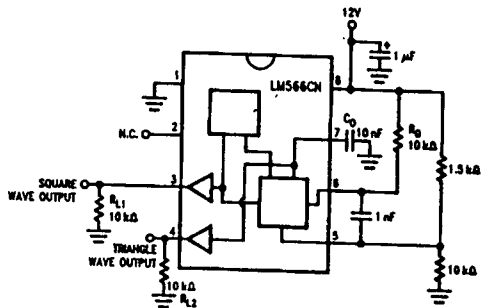


Triangle Wave Output Characteristics



TL/H/7854-4

AC Test Circuit



TL/H/7854-5

TL/H/7854-6

5473/7473 Dual J-K Master-Slave Flip-Flop with Clear

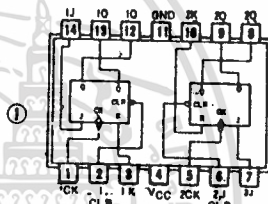
	Schottky TTL				High-Speed TTL				Low-Power Schottky TTL				Standard TTL				Low-Power TTL															
	Device Type		Package		Device Type		Package		Device Type		Package		Device Type		Package		Device Type		Package													
	C	P	M	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF												
T.I.					SN54H73	J	D	WD	SN54LS73	J	D	WD	SN5473	J	D	WD	SN54L73	J	D	WD	SN5473	J	D	WD	SN54L73	J	D	WD				
FAIRCHILD					SN74H73	J	D	ND	SN74LS73	J	D	ND	SN7473	J	D	ND	SN74L73	J	D	ND	SN7473	J	D	ND	SN74L73	J	D	ND				
MOTOROLA					FM54H73/FM54H73	O	I	FD	FM54LS73/FM54LS73	O	I	FD	FM5473/FM5473	O	I	FD	FM54L73/FM54L73	O	I	FD	FM5473/FM5473	O	I	FD	FM54L73/FM54L73	O	I	FD				
N.S.C.					MC3163	L	D	FD	MC3063	L	D	FD	SN74LS73	P	D		MC5473	L	D	FD	MC7473	L	D	FD	DM54L73	J	D	ND	DM74L73	J	D	ND
PHILIPS					DN154H73	J	D	ND	DM74H73	J	D	ND	DM74LS73	P	D		DM5473	J	D	ND	DM7473	J	D	ND	DM54L73	J	D	ND	DM74L73	J	D	ND
SIGNETICS					N74H73		D		N74LS73		D		FJ121/7473		D		S5473	FD	AD	WD	N7473	FD	AD	WD								
SIEMENS																					FLJ121		D									
FUJITSU																																
HITACHI									HD74LS73		P	D	HD7473/HD2515		D	P	D															
MITSUBISHI									M74LS73		P	D	M53273		P	D																
NEC													μPB225		DD	DD																
TOSHIBA													TD3473A		P	D																

Electrical Characteristics SN54LS73/SN74LS73A

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range

Supply voltage, V _{CC}	TV	Operating free-air temperature range	SN54LS	-55°C to 125°C				
Input voltage	5V	Storage temperature range	SN74LS	°C to 175°C				
				-85°C to 150°C				
recommended operating conditions								
			SN54LS73A	SN74LS73A	UNIT			
Supply voltage, V _{CC}		MIN	NOM	MAX				
High-level output current, I _{OH}		-4.5	3	5.5	4.75	1.5	5.25	V
Low-level output current, I _{OL}				-600			-600	μA
Pulse width, t _p								ns
	Clock high	20		20				
	Preset or clear low	25		25				
Input setup time, t _{su}	High-level data	20		20				ns
	Low-level data	20		20				ns
Input hold time, t _{hd}		0.1		5				ns
Operating free-air temperature, T _a		-55		125		0		°C

Pin Assignment (Top View)



Function Tables

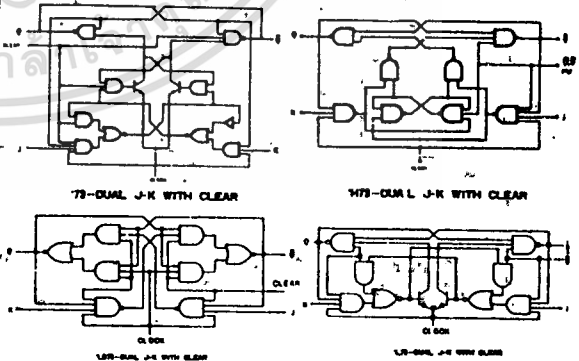
73 H73, L73 (See Note 2)

LS73 (See Note 2)

INPUTS		OUTPUTS			
CLEAR	CLOCK	J	K	Q	Q̄
H	X	X	X	L	H
H	∅	L	L	Q ₀	Q̄ ₀
H	∅	L	H	L	L
H	∅	L	H	H	L
H	∅	H	H	TOGGLE	TOGGLE

INPUTS		OUTPUTS			
CLEAR	CLOCK	J	K	Q	Q̄
L	X	X	X	L	H
H	∅	L	L	Q ₀	Q̄ ₀
H	∅	L	H	L	L
H	∅	L	H	H	L
H	∅	H	H	TOGGLE	TOGGLE
H	∅	H	X	Q ₀	Q̄ ₀

Functional Block Diagrams



- NOTES: 1. with all outputs open, I_{CC} is measured with the Q and Q̄ outputs high in 1. At the time (time of measurement), the clock input is grounded.
 2. H = high level (steady state), L = low level (steady state), X = irrelevant
 ∅ = transition from high to low level
 ∅L = high-level pulse; data inputs should be held constant, while clock is high
 data is transferred to output on the falling edge of the pulse.
 Q₀ = the level of Q before the indicated input conditions were established.
 TOGGLE: Each output changes to the complement of its previous level at each active transition (pulse) of the clock.

† For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.
 ‡ All typical values are at V_{CC} = 5V, T_a = 25°C.

• Not more than one output should be shorted at a time.
 * t_{PLH} = propagation delay time, low-to-high-level output.
 † t_{PHL} = propagation delay time, high-to-low-level output.

‡ If the arrow indicates the edge of the clock pulse used for reference: ↑ for the rising edge, ↓ for the falling edge.

54121/74121 Monostable Multivibrator with Schmitt-Trigger Input

	Schottky TTL				High-Speed TTL				Low-Power Schottky TTL				Standard TTL				Low-Power TTL			
	Device Type		Package		Device Type		Package		Device Type		Package		Device Type		Package		Device Type		Package	
	C	P	M	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF
T.I.																				
FAIRCHILD													SN54121	J	I	W	SN54L121	J	I	W
MOTOROLA													SN74121	J	I	W	SN74L121	J	I	W
N.S.C.													FMS4121-FM9603	D	J	F				
PHILIPS													FC74121-FC9603	D	J	F				
SIGNETICS													MCS4121	L	F	F				
SIEMENS													MC74121	L	F	F				
FUJITSU													DM54121	J	C	N	W			
HTACHI													DM74121	J	C	N	W			
MITSUBISHI													DM54121	J	C	N	W			
NEC													DM74121	J	C	N	W			
TOSHIBA													FJK101-74121	J	C	N	W			
													S54121	F	L	A	W			
													N74121	F	L	A	W			
													FLK101	G						
													HO74121-HD2543	F	P	F				
													M53321	P	Q					
													TD34121A	P	Q					

Electrical Characteristics SN54S121 SN74S121

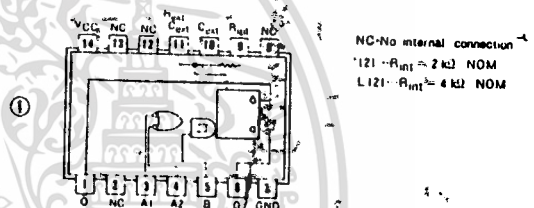
absolute maximum ratings over operating free-air temperature range			
Supply voltage V _{CC}	5V	Operating free-air temperature range	SN54S 55°C to 125°C
Input voltage	5.2V		SN74S 0°C to 70°C
Storage temperature range			
			-55°C to 150°C
recommended operating conditions			
		SN54S121	SN74S121
		MIN NOM MAX	MIN NOM MAX
Supply voltage V _{CC}		4.5 5 5.5	4.75 5 5.25
High-level output current I _{OH}			800
Low-level output current I _{OL}			16
Rate of rise/fall at input buffer or Schmitt input B			1
Input pulse width (min)			1
External timing capacitance C _{ext}		10	50
External timing capacitance C _{int}		1.4	30
Duty cycle		0	100
Operating free-air temperature, T _A		55	125

Electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range

PARAMETER	TEST CONDITIONS †	MIN	TYP ‡	MAX	UNIT
V _{T+} Positive-going threshold voltage	V _{CC} =MIN, A input	1.4	1.4	2	V
V _{T-} Negative-going threshold voltage	V _{CC} =MIN, A input	0.8	1.4	2	V
V _{T+} Positive-going threshold voltage	V _{CC} =MIN, B input		1.55	2	V
V _{T-} Negative-going threshold voltage	V _{CC} =MIN, B input	0.8	1.35	2	V
V _I Input clamp voltage	V _{CC} =MIN, I _I =-12mA			-1.5	V
V _{OH} High-level output voltage	V _{CC} =MIN, I _{OH} =MAX	2.4	3.4		V
V _{OL} Low-level output voltage	V _{CC} =MIN, I _{OL} =MAX	0	0.2	0.4	V
I _I Input current at maximum input voltage	V _{CC} =MAX, V _I =5.5V			1	mA
I _{IH} High-level input current	V _{CC} =MAX, V _I =2.4V	A1 or A2		40	µA
I _{IH} High-level input current	V _{CC} =MAX, V _I =2.4V	B		80	µA
I _{IL} Low-level input current	V _{CC} =MAX, V _I =0.4V	A1 or A2		-3.2	mA
I _{OL} Short-circuit output current †	V _{CC} =MAX	54 Family		-20	mA
I _{OL} Short-circuit output current †	V _{CC} =MAX	74 Family		-18	mA
I _{CC} Supply current	V _{CC} =MAX	Quiescent		13 25	mA
I _{CC} Supply current	V _{CC} =MAX	Triggered		23 40	mA
t _{PLH} Propagation delay time, low-to-high-level Q output from either A input	V _{CC} =5V, T _A =25°C, C _T =80pF, R _{int} to V _{CC}		45	70	ns
t _{PLH} Propagation delay time, low-to-high-level Q output from B input	V _{CC} =5V, T _A =25°C, C _T =80pF, R _{int} to V _{CC}		35	55	ns
t _{PHL} Propagation delay time, high-to-low-level Q output from either A input	V _{CC} =5V, T _A =25°C, C _L =15pF, R _L =400Ω		50	80	ns
t _{PHL} Propagation delay time, high-to-low-level Q output from B input	V _{CC} =5V, T _A =25°C, C _L =15pF, R _L =400Ω		40	65	ns
t _{w(out)} Pulse width obtained using internal timing resistor	V _{CC} =5V, T _A =25°C, C _L =15pF, R _L =400Ω, C _T =100pF, R _T =18kΩ		70	110	150
t _{w(out)} Pulse width obtained with zero timing capacitance	V _{CC} =5V, T _A =25°C, C _L =15pF, R _L =400Ω, C _T =100pF, R _T =18kΩ		30	50	ns
t _{w(out)} Pulse width obtained using external timing resistor	V _{CC} =5V, T _A =25°C, C _L =15pF, R _L =400Ω, C _T =100pF, R _T =18kΩ		6	7	8

† For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.
 ‡ All typical values are at V_{CC}=5V, T_A=25°C.
 § Not more than one output should be shorted at a time.

Pin Assignments (Top view)

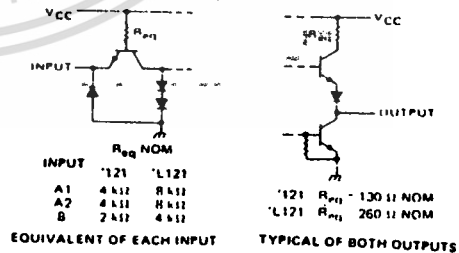


Function Table

*121 †121 (See Note)

INPUTS		OUTPUTS	
A1	A2	Q	Q̄
L	X	H	L
X	L	H	H
X	X	L	L
X	X	L	H
H	H	X	L
H	H	X	H
H	H	L	L
H	H	L	H
L	X	L	L
X	L	L	L

Schematics of inputs and outputs



- NOTES: A. H=high level (steady state), L=low level (steady state), ↑=transition from low to high level, ↓=transition from high to low level, ⌋=one high-level pulse, ⌋=one low-level pulse, X=irrelevant (any input, including transitions)
- B. To use the internal timing resistor connect R_{int} to V_{CC}
- C. An external timing capacitor may be connected between C_{ext} (positive) and R_{ext}/C_{ext}
- D. For accurate repeatable pulse widths, connect an external resistor between R_{ext}/C_{ext} and V_{CC} with R_{int} open-circuited.
- E. To obtain variable pulse widths, connect external values resistance between R_{int} or R_{ext}/C_{ext} and V_{CC}.

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

54123/74123 Dual Retriggerable Monostable Multivibrator with Clear

	Schottky TTL				High-Speed TTL				Low-Power Schottky TTL				Standard TTL				Low-Power TTL						
	Device Type	Package			Device Type	Package			Device Type	Package			Device Type	Package			Device Type	Package					
	C	P	M	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF			
T.I.									SN54LS123	J	D		WD	SN54123	J	D		WD	SN54L123	J	D		WD
FAIRCHILD									SN74LS123	J	D		ND	SN74123	J	D		ND	SN74L123	J	D		ND
MOTOROLA														MC74123					DM54L123A				
N.S.C.									DM54LS123					DM74123					DM74L123A				
PHILIPS														N74123									
SIGNETICS														SS4123	F	D		WD					
SIEMENS														N74123	F	D		WD					
FUJITSU														FLK121									
HITACHI									74LS123					MB440									
MITSUBISHI									HD74LS123					HD74123/HD2516	J	D							
NEC									M74LS123					MS3323									
TOSHIBA														μPB2123									

Electrical Characteristics SN54LS123/SN74LS123

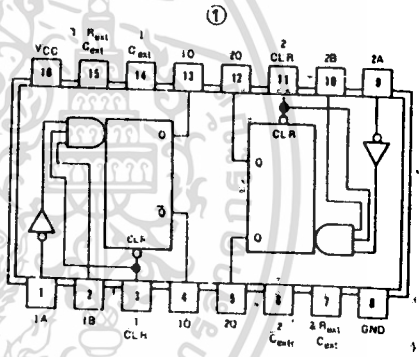
absolute maximum ratings operating free-air temperature range

Supply voltage, VCC	7V	Operating free air temperature range	SN54LS	-55°C to 125°C
Input voltage	7V		SN74LS	0°C to 70°C
		Storage temperature range		-65°C to 150°C

recommended operating conditions

	SN54LS123			SN74LS123			UNIT
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
Supply voltage, VCC	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
High level output current, I _{OH}			400			400	mA
Low level output current, I _{OL}			0			0	mA
Pulse width, t _p	40			40			ns
External timing resistance, R _{ext}	5		100	5		260	kΩ
External timing capacitance, C _{ext}			no restriction			no restriction	ns
Timing capacitance at Rest/Clear terminal			50			50	pf
Operating free air temperature, T _a	55		125	0		70	°C

Pin Assignment. (Top View)



electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
V _{IH} High-level input voltage		2			V
V _{IL} Low-level input voltage			0.8		V
V _I input clamp voltage	V _{CC} = MIN, I _I = 10mA			-1.5	V
V _{OH} High-level output voltage	V _{CC} = MIN, I _{OH} = MAX, See Note 1	2	3	5	V
V _{OL} Low-level output voltage	V _{CC} = MIN, I _{OL} = 8mA, See Note 1		0.35	0.5	V
I _I Input current at maximum input voltage	V _{CC} MAX, V _I 7V		0.1		mA
I _{IH} High-level input current	V _{CC} MAX, V _I = 2.7V		20		μA
I _{IL} Low-level input current	V _{CC} = MAX, V _I 0.4V		0.4		mA
I _{OS} Short-circuit output current	V _{CC} = MAX, See Note 1		20		100 mA
I _{CC} Supply current (quiescent or triggered)	V _{CC} = MAX, See Notes 2 and 3		12	20	mA
t _{PLH} from A to output Q	V _{CC} = 5V, C _{ext} 0, R _{ext} 5kΩ, CL 15pF, RL 2kΩ		22	33	ns
t _{PHL} from B to output Q			23	44	ns
t _{PLH} from A to output Q			32	45	ns
t _{PHL} from B to output Q			34	56	ns
t _{PLH} from Clear to output Q			20	27	ns
t _{PHL} from Clear to output Q			28	45	ns
t _{Q(rem)} from A or B to output Q			116	200	ns
t _Q from A or B to output Q	C _{ext} 1000pF, R _{ext} 10kΩ		4.5	5	μs

FUNCTION TABLE

123 LS123 L123 (See Note 4)

CLEAR	INPUTS		OUTPUTS	
	A	B	Q	Q'
L	X	X	L	H
X	H	X	L	H
X	X	L	L	H
H	L	X	L	H
X	X	X	H	L
X	X	X	H	L

- NOTES: 1: Ground C_{ext} to measure V_{OH} at 0 V_{OL} at 0 or 105 at 0. C_{ext} is open to measure V_{OH} at 0 V_{OL} at 0 or 105 at 0.
 2: Quiescent I_{CC} is measured (after settling) with 2.4V applied to all clear and A-inputs, B-inputs grounded, all outputs "L", C_{ext} = 0.02 μF, and R_{ext} = 25kΩ.
 3: I_{CC} is measured in the triggered state with 2.7V applied to all clear and B inputs, A inputs grounded, all outputs open, C_{ext} = 0.02 μF, and R_{ext} = 25 kΩ.
 4: A H-high level (steady state), L-low level (steady state), X-transition from low to high level, - transition from high to low level. A -one high-level pulse; L- one low-level pulse, X irrelevant (any input including transitions).
 B An external timing capacitor may be connected between and Rest/C_{ext} C_{ext} (positive).
 C For accurate repeatable pulse widths, connect an external resistor between Rest/C_{ext} and VCC with R_{ext} open-circuited.
 D To obtain variable pulse-widths, connect external resistance between R_{ext} or Rest/C_{ext} and VCC.

For conditions shown as MIN or MAX, use the value specified under recommended operating conditions.
 All typical values are at V_{CC} = 5V, T_a = 25°C.
 *Not more than one output should be shorted at a time.
 t_{PLH} = propagation delay time, low-to-high-level output.
 t_{PHL} = propagation delay time, high-to-low-level output.

ไม่ว่ากรณีใดๆ ห้ามสืง อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HIGH SPEED DUAL DIFFERENTIAL COMPARATOR/SENSE AMP

NE521

NE521-F.N

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS $V_+ = +5V, V_- = -5V, T_A = 0 \text{ to } 70^\circ\text{C}$ unless otherwise specified

PARAMETER	TEST CONDITIONS	LIMITS			UNITS
		Min	Typ	Max	
V_{OS} Input offset voltage At 25°C Over temperature range	$V_+ = +4.75V, V_- = -4.75V$		6	7.5 10	mV
I_{BIAS} Input bias current At 25°C Over temperature range	$V_+ = +5.25V, V_- = -5.25V$		7.5	20 40	μA
I_{OS} Input offset current At 25°C Over temperature range	$V_+ = +5.25V, V_- = -5.25V$		1.0	5 12	μA
V_{CM} Common mode voltage range	$V_+ = +4.75V, V_- = -4.75V$	±3			V
I_{IH} Input current High	$V_+ = +5.25V, V_- = -5.25V$ $V_{IH} = 2.7V$ 1G or 2G strobe Common strobe S			50 100	μA
I_{IL} Low	$V_{IL} = 0.5V$ 1G or 2G strobe Common strobe S			-2.0 -4.0	mA
V_{OH} V_{OL} Output voltage High Low	$V_{IH(S)} = 2.0V$ $V_+ = +4.75V, V_- = -4.75V, I_{LOAD} = -1mA$ $V_+ = +5.25V, V_- = -5.25V, I_{LOAD} = 20mA$	2.7	3.4		V
V_+ V_- Supply voltage Positive Negative		4.75 -4.75	5.0 -5.0	5.25 -5.25	V
I_{CC+} I_{CC-} Supply current Positive Negative	$V_+ = 5.25V, V_- = -5.25V, T_A = 25^\circ\text{C}$		27 -15	50 -28	mA
I_{SC} Short circuit output current		-40		-100	μA

AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS $T_A = 25^\circ\text{C}, R_L = 200\Omega, C_L = 15pF$

PARAMETER	FROM INPUT	TO OUTPUT	LIMITS			UNIT
			Min	Typ	Max	
Input resistance				4		k Ω
Input capacitance				3		pF
Large Signal Switching Speed						ns
Propagation delay						
$t_{PLH(D)}$ Low to high ¹	Amp	Output		8	12	
$t_{PHL(D)}$ High to low ¹	Amp	Output		6	9	
$t_{PLH(S)}$ Low to high ²	Strobe	Output		4.5	6	
$t_{PHL(S)}$ High to low ²	Strobe	Output		3.0	4.5	
Maximum operating frequency			40	55		MHz
Small Signal Switching Speed						ns
Propagation delay						
$t_{PLH(D)}$ Low to high ³	Amp	Output		12	18	
$t_{PHL(D)}$ High to low ³	Amp	Output		10	15	

NOTES

- Response time measured from 0V point of a 100mV p-p 10MHz square wave to the 1.5V point of the output
- Response time measured from 1.5V level of input to 1.5V point of the output
- Response time measured from the start of a 100mV input step with 5mV overdrive to the 1.5V level of the output

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

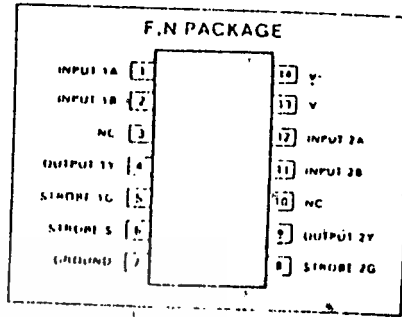
FEATURES

- 12ns maximum guaranteed propagation delay
- 20 μ A maximum input bias current
- TTL compatible strobes and outputs
- Large common mode input voltage range
- Operates from standard supply voltages
- Military qualifications pending

APPLICATIONS

- MOS memory sense amp
- A-to-D conversion
- High speed line receiver

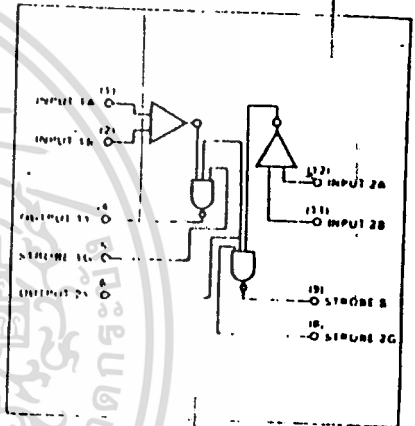
PIN CONFIGURATION



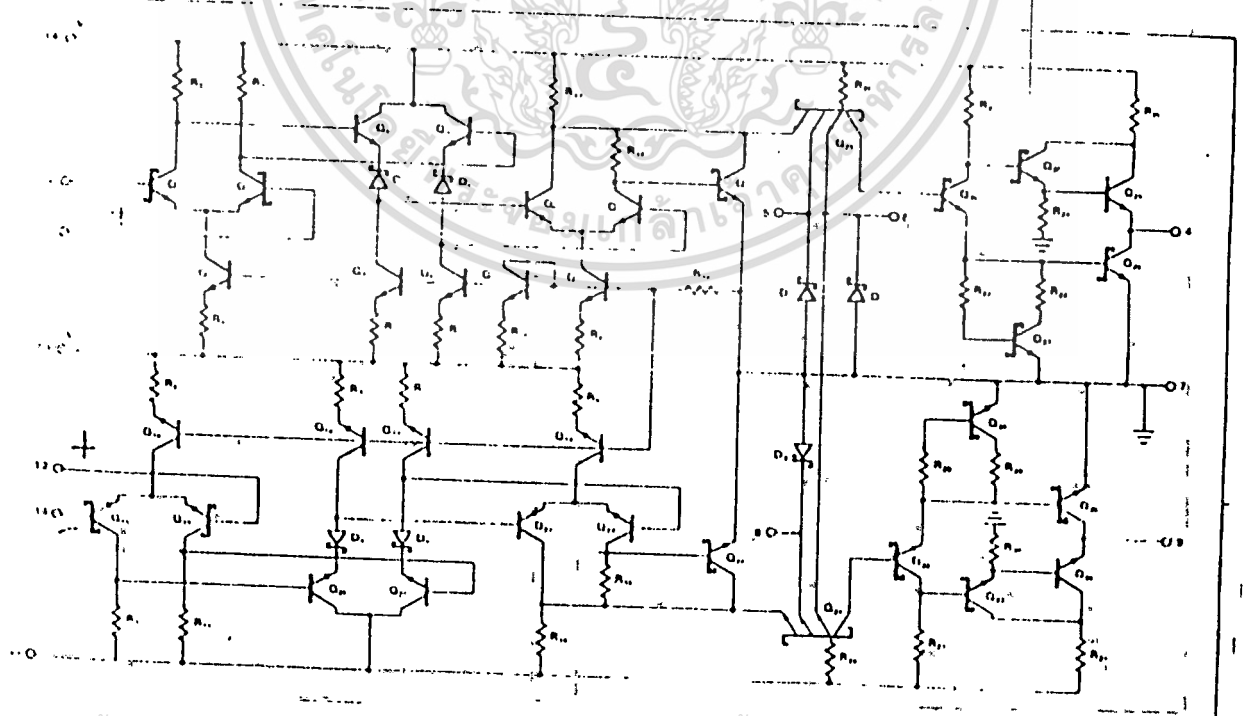
ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

PARAMETER	RATING	UNIT
V+	Supply voltage	V
V-	Positive	+7
	Negative	-7
V(DR)	Differential input voltage	± 6
V(IN)	Input voltage	V
	Common mode	± 5
	Strobe/gate	± 5.25
P(D)	Power dissipation	600
I(A)	Operating temperature range	0 to 70
sig	Storage temperature range	-65 to +150
	Lead temperature (solder 60 sec)	+300

BLOCK DIAGRAM



EQUIVALENT SCHEMATIC



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้