เครื่องรับ – ส่ง สัญญาณภาพผ่านเส้นใยแสง

OPITCAL VIDEO TRANSCEIVER

โดย

นาย ราชัญ บุญเจือจันทร์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตร์บัณฑิต
สาขาเทคโนโลยีโทรคมนาคม ภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2537

หัวข้อปริญญานิพนธ์ เครื่องรับ-ส่งสัญญาณภาพผ่านเส้นใยแสง
OPTICAL VIDEO TRANSCEIVER

ชื่อนักศึกษา นายราชัญ บุญเจือจันทร์ รหัสประจำตัว 35.103154

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ อุทัย ศรีธีระวิโรจน์

ภาควิชา เทคนิคอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2537

ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ
( )
.... กรรมการ
( )
.... กรรมการ
( )
.... กรรมการ
( )
.... กรรมการ
( )

สารบัญ

สารบัญรูป

สารบัญตาราง

หน้า

เครื่องรับ–ส่งสัญญาณภาพผ่านเส้นใยแสง

โดย นายราชัญ บุญเจือจันทร์ รหัส 35.103154

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์อุทัย ศรีธีระวิโรจน์

ปีการศึกษา 2537

บทคัดย่อ

เนื่องจากความต้องการการส่งสัญญาณภาพและเสียง ในกิจการในด้านข่าวสาร และเพื่อความบันเทิงได้ขยายตัวขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งระบบเดิมนั้นใช้วิธีการส่งสัญญาณไปยังผู้รับชมด้วยระบบวิทยุย่านความถี่สูง เมื่อมีการใช้งานระบบนี้กันอย่างแพร่หลาย ทำให้เกิดปัญหาขาดแคลนย่านความถี่ที่ใช้งาน และคุณภาพของการรับสัญญาณในบางพื้นที่มีข้อจำกัด ดังนั้นการให้การบริการในลักษณะนี้จึงได้พัฒนาหันมาใช้การส่งสัญญาณทางเส้นใยแสงแทนระบบวิทยุ เพราะไม่มีปัญหาในเรื่องของย่านความถี่ที่ใช้งาน คุณภาพของสัญญาณมีชัดเจนสูง มีย่านความถี่ในการส่งสัญญาณกว้าง ปราศจากการรบกวนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สำหรับโครงงานนี้ได้เสนอหลักการเบื้องต้นของการส่งสัญญานภาพโดยใช้เส้นใยแสง ซึ่งเป็นพื้นฐานในการพัฒนาการบริการในด้านข่าวสารต่อไป

OPTICAL VIDEO TRANSCEIVER

BY MR. RACHAN BOONJUAJUN NO. 35.103154

ADVISER MR. UTHAI SRITHEERAWIROJ

YAER 1995

ABSTRACT

Todays, the demand of transmitting voice and video signal of information issue and broadcasting has been rapidly changed and increased. The old system still use tranmission methode to the customers and ordinary people in very high Radio Frequency band. When the old system are fameris is many countr-ies, not only the lack of bandwidth occurs but also the quality of receiving signals is deve loped by using Optical Fiber Trans-mission, instead of using Microwave techniuqes that is because limited bandwidth problem, wideband, high quality, pure signal, no electro-magnetic interference.This project has been proposed on general idea of video signal transmission system through a media of optical fiber cable that can provide basic of develop-ing information in the near future.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ อุทัย ศรีธีระวิโรจน์ เป็นอย่างสูงที่ได้ให้การประสิทธิ์ประสาทวิชาและให้คำแนะนำในการทำโครงงานนี้ ต้องขอขอบคุณเพื่อน ๆ ที่ให้ข้อมูลได้ด้านเนื้อหา ข้อมูล พร้อมทั้งร่วมช่วยทำการทดลองโครงงานนี้ อีกทั้งยังให้กำลังใจในการทำปริญญานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี แม้ว่าจะไม่สมบูรณ์ตามที่ได้คิดไว้ตั้งแต่เริ่ม สุดท้ายนี้ขอขอบคุณอาจารย์ภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรมทุกท่านที่ช่วยให้ข้อคิดที่เป็นประโยชน์ต่อการทำโครงงานไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

นาย ราชัญ บุญเจือจันทร์

ผู้จัดทำ

คำนำ

เครื่องรับ-ส่ง สัญญาณภาพผ่านเส้นใยแสง เป็นหัวข้อในการทำโครงงานของนักศึกษาชั้นปีที่ 3 สาขาเทคโนโลยีโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง **เนื้อหา**ส่วนใหญ่เป็นหลักการเบื้องต้นในการส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแสง สามารถนำไปพัฒนาให้เกิดการใช้งานจริงได้

ทางผู้จัดทำขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้โอกาสทำงานโครงงานนี้ แม้ว่าผลที่ได้จะไม่สมบูรณ์นัก ยังต้องมีการปรับปรุงเพิ่มเติมอีกเป็นบางส่วน และหวังว่าโครงงานนี้คงจะมีประโยชน์ต่อผู้สนใจบ้างพอสมควร

นาย ราชัญ บุญเจือจันทร์

35. 103154

29/10/37

บทที่ 1 FIBER OPTICS

1. Fiber optic

การสื่อสารทางแสงโดยใช้การส่งด้วย Fiber optic จะมีบทบาทอย่างมากในด้านการสื่อสารสมัยใหม่ในอนาคต ทั้งนี้เนื่องจาก Fiber optic นอกจากจะมีความสำคัญเช่นเดียวกับการส่งด้วย Micro-wave และดาวเทียมในปัจจุบันแล้ว เหตุผลที่ Fiber optic เริ่มเข้ามามีบทบาทก็เนื่องจากสามารถแก้ปัญหาต่าง ๆ ทางด้านการสื่อสารได้ผลดี จากคุณสมบัติเฉพาะของ Fiber optic

1.1 Fiber optic

Fiber optic หรือ Optical fiber หรือบางทีเรียกว่า" เส้นใยแก้วนำแสง"เป็นแท่งแก้วขนาดเล็กมีนาดเท่าเส้นผม มีกรรมวิธีการผลิตด้วยเทคโนโลยีชั้นสูง

1.2 ข้อดีของ Fiber optic

1. การสูญเสียในการส่งต่ำ ทำให้ระยะห่างของ repeater มีมากขึ้นหรืออาจไม่ต้องใช้ repeater ก็ได้
2. แถบความถี่หรือ bandwidth กว้าง มีความจุในการส่งสูง
3. ปราศจากการรบกวนทางคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและการรบกวนทางคลื่นวิทยุ ไม่มี cross talk หรือการรั่วไหลของสัญญาณ ทำให้ไม่มีปัญหาในการ sheild
4. ไม่เป็น conductive ซึ่งเป็นการแยกกันทางไฟฟ้าระหว่างเครื่องรับและเครื่องส่ง
5. ไม่เป็น inductive โดยไม่ทำให้เกิดอันตรายต่ออุปกรณ์อีเลคทรอนิคส์จากการ surge ของไฟแรงสูง
6. มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา รัศมีการโค้งงอน้อย ง่ายต่อการติดตั้งและประหยัดเนื้อที่

1.3 เปรียบเทียบคุณลักษณะของ Fiber optic

หากจะเปรียบเทียบคุณลักษณะของ Fiber optic กับคู่สายธรรมดาและสาย Coaxial cable จะได้ดังนี้

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบคุณลักษณะของ Fiber optic

คุณลักษณะ	Twin lead	Coaxial	Fiber optic
น้ำหนัก	หนัก	หนัก	เบา
ขนาด	ใหญ่	ใหญ่	เล็ก
การติดตั้ง	ปานกลาง	ยาก	ง่าย
การต่อ	ง่าย	ปานกลาง	ซับซ้อน
Bandwidth/1 km.(MHz)	5	100	500
ระยะที่ต้องขยาย (km.)	1 - 10	1 - 2	2 - 15
การสูญเสีย A = f (F)	√F	√F	น้อยมาก
ราคาของระบบ	ต่ำ	ปานกลาง	สูง แต่จะลดลงเรื่อยๆ

1.4 การใช้งาน

Fiber optic สามารถนำไปใช้ในงานสื่อสารต่าง ๆ ได้อย่างกว้างขวาง และที่จะกล่าวต่อไปนี้เป็นเพียงตัวอย่างเท่านั้น ได้แก่

1.4.1 การสื่อสารระยะไกลหรือภายในเมือง

1.4.1.1 ระบบสื่อสารระยะไกล ความจุสูง
1.4.1.2 ระบบ Electronics switching หรือชุมสายโทรศัพท์ Electronics
1.4.1.3 ระบบสื่อสาร Submarine cable
1.4.1.4 ระบบการส่ง Viedo

1.4.2 ในงานที่มีการรบกวนสูง

1.4.2.1 การส่งข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา

1.4.2.2 การส่งข้อมูลระหว่างสถานีรถไฟ

1.4.2.3 การควบคุมสัญญาณไฟจราจร

1.4.2.4 การส่งข้อมูล Traffic

1.4.2.5 การส่งข้อมูลเกี่ยวกับกำลังไฟฟ้า

1.4.3 การสื่อสารภายในสำนักงานหรือตึกสูง

บทที่ 2 ตัวนำแสง (LIGHT SOURCE)

2. ทฤษฎีตัวนำแสง

2.1 ทฤษฎีตัวนำแสงและสิ่งที่เกี่ยวข้อง

แม้ว่ามนุษย์จะได้ใช้แสงในการสื่อสารมานานนับเป็นพัน ๆ ปีแล้วก็ตาม แต่ "ตัวกลาง(medium)"ที่ใช้ในการส่ง คือ อากาศ นั้นมีความไม่แน่นอน จึงไม่อาจใช้ในการส่งสัญญาณแสงได้ การพัฒนาจึงได้หยุดแค่นั้น จวบจนกระทั่งหาตัวกลางใหม่ได้ที่เหมาะสม

ตัวกลางดังกล่าวก็คือ "แก้ว (Glass)" ซึ่งสามารถทำหน้าที่นำแสงได้ และจากการูที่สามารถผลิตให้มีความประณีตได้ จึงทำให้ดูดซึมแสงที่ผ่านตัวมันไปได้เล็กน้อยเท่านั้น

ตามความเป็นจริงแล้ว ปรากฏว่าเป็นเวลากว่าศตวรรษที่เดียวที่ปรากฏการณ์ของการนำแสงในตัวกลาง dielectric medium ได้ถูกค้นพบ ทั้งนี้โดยไม่ได้ตั้งใจพบว่าแสงที่ถูกส่งออกไปโดยมีการสะท้อนกลับภายในทั้งหมดมีลักษณะเช่นเดียวกับการไหลของน้ำผ่านรูที่ภาชนะ จากการทบทวนสิทธิบัตรของประเทศสหรัฐอเมริกา แสดงว่าการใช้ประโยชน์ของการส่งแสงผ่าน dielectric ที่เป็นของแข็งเช่น แก้ว ไม่ได้รับความสนใจเท่าใด จนกระทั่ง ปี พ.ศ. 2493 จึงได้มีอุตสาหกรรมขนาดใหญ่เกิดขึ้นเพื่อผลิต fiber optic สำหรับทำแผ่นหน้าของหลอด Cathode - Ray medical endoscopes เครื่องถ่ายเอกสาร และเครื่องมืออื่น ๆ อีกเป็นจำนวนมาก ซึ่งในงานดังกล่าว การสูญเสียแสงส่วนหนึ่งไปในการส่งผ่าน Fiber optic ไม่เป็นเรื่องสำคัญเพราะความยาวของสายไม่มากนัก

ในปี พ.ศ. 2509 ความสำคัญได้เริ่มขึ้นเมื่อมีการสื่อสารทาง Fiber optic ที่มีระยะทางยาว ซึ่งต้องการการสูญเสียต่ำ ๆ เท่าที่จะทำได้ จึงได้มีการคิดค้นการลดอัตราการสูญเสียของวัสดุที่ใช้และกรรมวิธีการผลิต

2.2 ธรรมชาติของแก้ว

ตัวกลางสำหรับการส่งคลื่นแสง คือ "แก้ว" ซึ่งเป็นของแข็งอย่างหนึ่ง ที่มีโครงสร้างเป็นแบบ Amorphous หรือ random (ตรงข้ามกับโครงสร้างที่เป็นแบบ crystalline ที่ปกติเมื่อวัสดุหลอมเหลวแข็งตัว) แก้วเป็นของผสมทางเคมีที่เกิดจาก inorganic oxide พื้นฐานนี้เป็นของผสมดังกล่าวมีเพียงจำนวนหนึ่งเท่านั้นที่สามารถทำแก้วได้ คือ silicon(SiO_2), boron (B_2O_3), phos-phurous (P_2O_5), sodium (Na_2O), germanium(GeO_2),calsium (CaO)

เมื่อ oxide เหล่านี้เย็นตัวลงจากสภาวะหลอมละลาย อะตอมของมันยังคงมีความเร็วในการเคลื่อนที่ (mobility) สูงกว่าอะตอมของของผสมอื่น ๆ อยู่มาก เมื่อมันผ่านจุด crys-talizatoin (ของ silica เท่ากับ 1.710° C) ผลก็คือ อะตอมไม่สามารถจัดตั้วของมันในรูปของ crystal lattice ได้ แต่จะอยู่ในรูปของ random

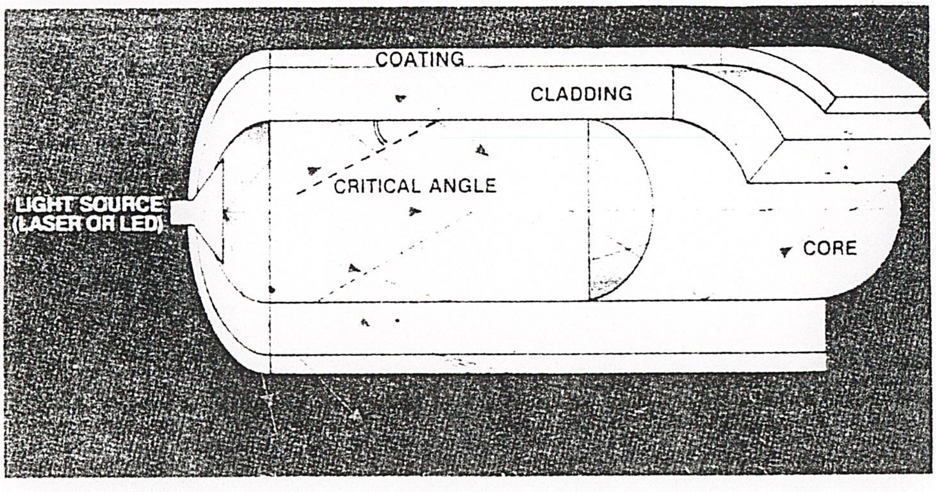
ตามปกติแล้วแก้วมักได้จากการผสม silica กับ oxide อื่น ๆ แม้ว่า oxide นั้นจะมีจำนวนเพียงเล็กน้อย ก็สามารถเปลี่ยนแปลงจุดอ่อนตัว (softening point) ดรรชนีหักเห (index of refraction) และคุณสมบัติอื่น ๆ ของ pure silica ได้ แก้วที่ใช้สำหรับนำแสง คือ silica กับ germanium จำนวนหนึ่งไม่มากนัก และเพิ่ม phosphurous oxide เข้าไปด้วยเพื่อเปลียนแปลงดรรชนีหักเหในรูปแบบคงที่อันหนึ่ง

สำหรับแก้วที่ใช้ทำกระจกหน้าต่าง,แจกัน,หลอดไฟ และสิ่งต่าง ๆ ที่พบเห็นได้ในชีวิตประจำวันนั้นปกติเป็น soda-lime glass (silica ผสมกับ sodium ,calsium และ oxide อื่นๆ ในจำนวนที่จุดอ่อนตัวลงต่ำกว่าของ pure silica)

2.3 ลักษณะของ Fiber optic

ส่วนประกอบที่สำคัญของ fiber optic มีอยู่ด้วยกัน 2 ส่วน คือ

1. CORE
2. CLADDING



รูปที่ 2.1 ลักษณะของ Fiber optic

โดยที่ Core จะมีดรรชนีหักเห (n_2) ซึ่งสูงกว่าของ Cladding (n_1) เล็กน้อย (Δ) สำหรับ Δ เป็นผลต่างดรรชนีหักเหสัมพันธ์ (relative refraction index difference)

2.4 ชนิดของวัสดุทำ Core และ Cladding

ปัจจุบันมีวัสดุที่ใช้ทำ Core และ Cladding 3 แบบ ด้วยกัน คือ

1. Core และ Cladding เป็นพลาสติค
2. Core เป็นแก้ว Cladding เป็นพลาสติค (แบบนี้บางทีเรียกว่าแบบ P.C.S หรือ plastic-clad silica)
3. Core และ Cladding เป็นแก้ว (แบบนี้บางทีเรียกว่า S.C.S หรือ silica-clad silica)

แบบที่ทำด้วยพลาสติคทั้งหมดนั้นมีขนาดค่อนข้างใหญ่เทอะทะ ไม่น่าดู และมีข้อเสียคือคุณสมบัติในการลดทอน (attenuation characteristic) สูง แบบ P.C.S นั้นให้คุณสมบัติในการลดทอนของแก้วดีกว่าและได้รับผลจากการแพร่กระจายน้อยกว่า fiber optic ที่ทำด้วยแก้วทั้งหมด มักพบใช้ในด้านการทหาร ส่วนที่เป็นแก้วทั้งหมดนั้นสมรรถนะในการลดทอนต่ำ และ concentricity ดี แม้จะเป็น core ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็ก ๆ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วง่ายต่อการ terminate กว่าแบบ P.C.S. ดังนั้น ในการเลือกแบบของ fiber optic สำหรับใช้ในงานต่าง ๆ ต้องพิจารณาถึงความต้องการของระบบและเงื่อนไขต่าง ๆ ที่กำหนดด้วย

2.5 การแพร่กระจายแสงใน Fiber optic

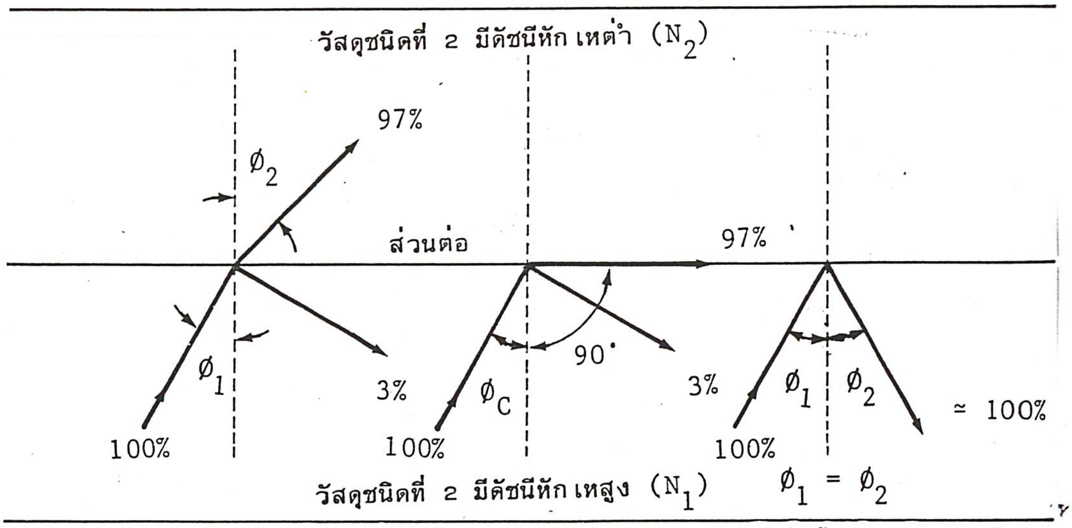
1. Numberical Aperture

การเดินทางของลำแสงใน core จะมีการหักเหไปยัง cladding บ้าง และสะท้อนกลับบ้าง ถ้ามุมของลำแสง (θ) น้อยกว่าค่าวิกฤติ(critical value) ซึ่งมุมวิกฤติของการหักเหภายในทั้งหมดหนรือการนำแสงโดยสมบูรณ์หาได้จาก Snell's law

$$\cos\theta_{cr} = n_2/n_1 \qquad \text{.............(1)}$$

จาก Snell's law ถ้าหากให้ $n_0 = 1$ สำหรับอากาศที่บริเวณทางเข้าแล้วจะได้ parameter พื้นฐานของ fiber optic อันหนึ่งเรียกว่า "numerical aperture" หรือ NA

$$\begin{aligned} NA &= \sin\theta_0 \\ &= \sqrt{n_1{}^2 - n_2{}^2} \\ &= n_1\sqrt{2\Delta} \qquad \text{.............(2)} \\ \text{เมื่อ} \quad &= (n_1 - n_2)/n_1 \end{aligned}$$

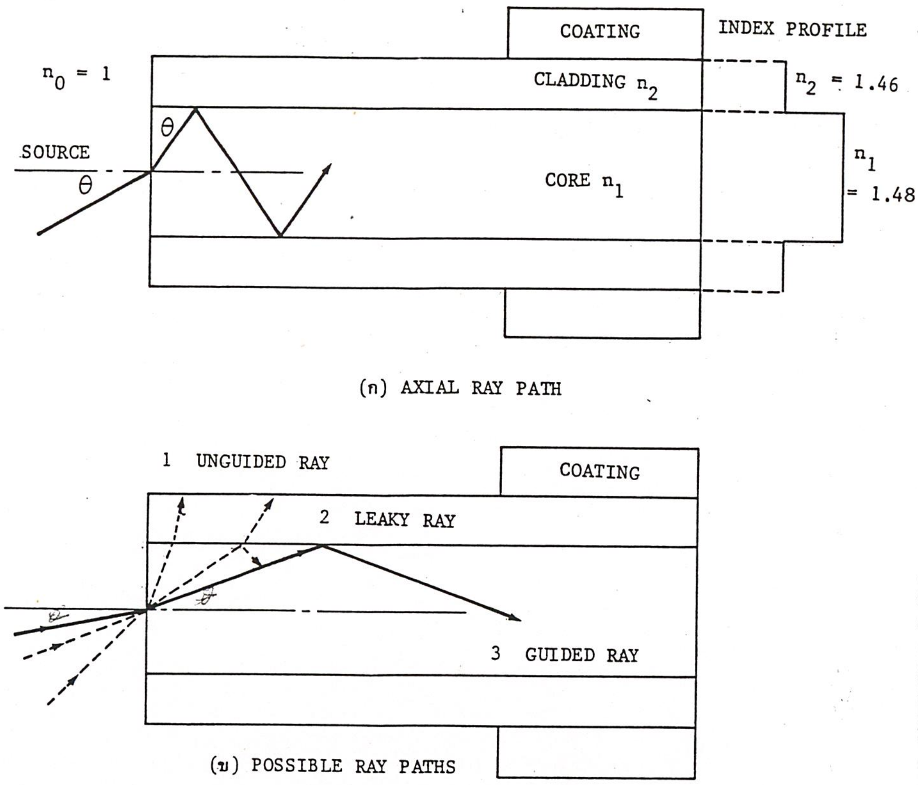


รูปที่ 2.2 คุณสมบัติของแสงเมื่อเคลื่อนที่จากวัสดุหนึ่งไปยังอีกอันหนึ่ง โดยแสงจะหักเห (รูป ก. และ ข.) หรือสะท้อนกลับหมด (รูป ค.)

parameter นี้หมายถึงมุมของแสงตกกระทบสูงสุด (ที่เป็นการหักเหภายในทั้งหมด) และเป็นการวัดความสามารถในการรวบรวมแสงของ fiber optic สำหรับ silica fiber ทั่ว ๆ ไป n_1 = 1.48, Δ = 0.013 และ NA = 0.24 ดังนั้น acceptable angle มีค่าราว 28° นั่นคือพลังงานแสงที่อยู่ภายใต้รูปกรวย 28° จะถูกรวบรวมและส่งออกไปทั้งหมด ส่วนแสงที่อยู่นอกออกไปจะมีการหักเหออกนอก core บางส่วนที่บริเวณต่อกันระหว่าง core กับ cladding

ในการพิจารณาเรื่องของลำแสงนั้น ได้มีการพัฒนาแนวความคิดในการที่จะให้ แสงเดินทางผ่านเส้นศูนย์กลางของ fiber โดยทั่ว ๆ ไปแล้วแสงมักจะผ่านแกนกลางในการเดินทางแบบ zigzag ของมันผ่าน core แสงเหล่านี้จะพบกับบริเวณติดต่อกันของ core กับ cladding ที่มุมเอียง (obliqueangle) หนึ่ง และอาจไม่สะท้อนกลับทั้งหมด แต่จะหักเหเข้าไปยัง cladding ในรูปที่ 2.3 (ข) แสดงลักษณะของแสงที่เดินทางใน 3 ลักษณะโดยความแตกต่างกันจะขึ้นอยู่กับขนาดการเอียงของลำแสงที่ทำกับแกน (axis)

อนึ่งคำว่า "leaky ray" ในรูปข้างล่างนั้นหมายถึง การที่แสงมิได้พบกับมุมวิกฤติที่ถูกต้อง ส่วนหนึ่งของแสงจึงหักเหออกไปนอก core



รูปที่ 2.3 ทางเดินของลำแสงใน Fiber optic ที่มีการเปลี่ยนแปลงดรรชนีหักเหระหว่าง core และ cladding เป็นขั้น

คำถามที่อาจเกิดขึ้นก็คือ แล้วตัวนำแสงที่ใช้ควรจะต้องเรียบมากน้อยแค่ไหน หรือ fiber สามารถโค้งงอได้สักเท่าใดจึงจะทำไม่ให้เกิด incurring loss ของแสง การเหลื่อมกันตรงบริเวณติดต่อกันของ core กับ cladding ที่ความยาวสั้นมาก ๆ (1 ในล้านของเมตร) ก็สามารถทำให้เกิดการสูญเสียของแสงได้ เนื่องจากมุมวิกฤติ(สมการที่ 1) ที่ microbends (โดยการโค้งงอด้วยรัศมี 10 cm. ไม่ทำให้เกิดการสูญเสีย) ดังนั้นการผลิต fiber ให้มีความเรียบจึงเป็นสิ่งที่สำคัญในอันที่จะทำให้การตัดต่อ (splicing) มีการสูญเสียต่ำและดีเสมือนกับเป็นเนื้อเดียวกัน

ตัวนำแสงแบบกลมดังที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้นนั้น มีดรรชนีหักเหใน core ของมันคงที่หรือ homogeneous ซึ่งเราเรียกว่า Step-index- fiber โดยในรูปที่ 2.3 (ก.) เป็น Step-index profile ทั่ว ๆ ไปแบบหนึ่ง (รายละเอียดของ fiber optic แบบต่าง ๆ จะได้กล่าวต่อไปในภายหลัง)

นอกจากนี้ยังมีตัวนำแสงแบบกลมอีกอย่างหนึ่งที่สำคัญ ซึ่งมีดรรชนีหักเหใน core ที่เปลี่ยนแปลงตามสมการ

$$n_r = n_1 \; 1 - \triangle \, (r/a) \; d \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(3)$$

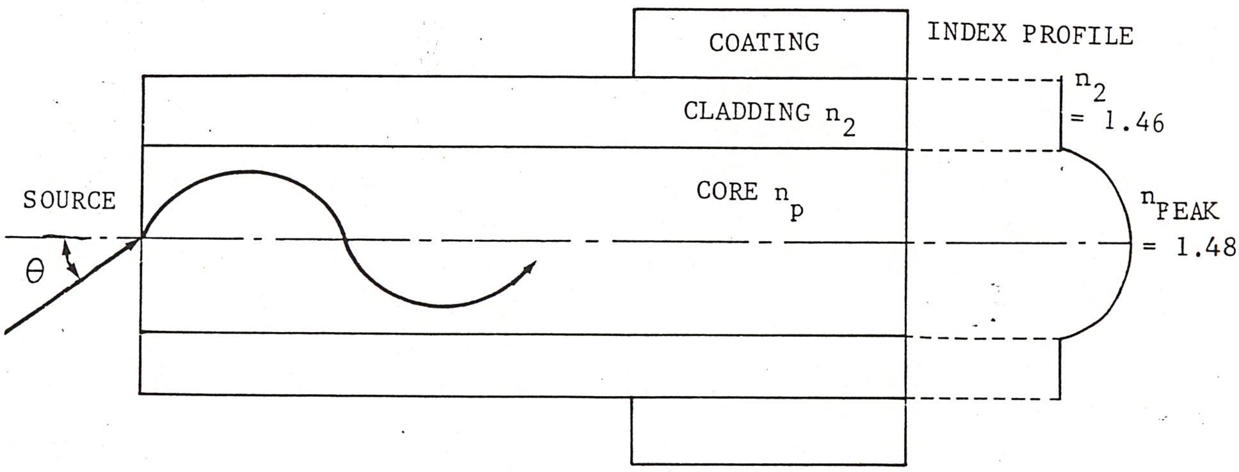
เมื่อ $\propto$ เป็นการเปลี่ยนแปลงดรรชนีสัมพันธ์ระหว่างตรงกลาง core กับ cladding สูงสุด

n_1 เป็นดรรชนีหักเหตรงกลาง core

r เป็น radial position

a เป็นรัศมีของ fiber

และ $\triangle$ เป็นการเปลี่ยนแปลงดรรชนีหักเหหรือ profile

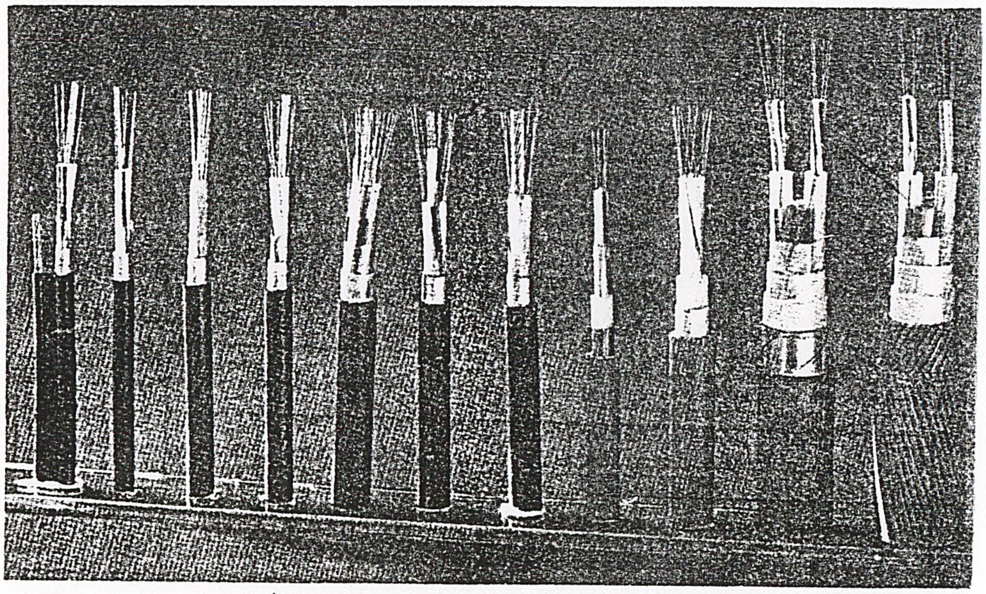


รูปที่ 2.4 ทางเดินของลำแสงใน fiber ที่ core มี grade index of refraction

ในกรณีตัวนำแสงเป็นแบบ grade -index แสงตกกระทบจะมีลักษณะไม่เป็นไปในแบบ zigzag แต่จะเป็นแบบ periodic (เกือบเป็น sinusodial path) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ θ_0 และ profile ตามรูปที่ 2.4

แนวความคิดของ NA และลำแสงทั้ง 3 แบบดังแสดงในรูปที่ 2.3 (ข.) นั้นสามารถนำมาใช้ได้กับ fiber ทั้ง 2 แบบที่ได้กล่าวมาแล้วโดยไม่เกี่ยวกับ profile parmeter (α) ซึ่งเมื่อ $\alpha = \infty$ (infinity) แล้ว fiber จะมีดรรชนีหักเหแบบ step index และ เมื่อ $\alpha = 2$ fiber จะมีดรรชนีหักเหแบบ parabolic หรือ square-law

สำหรับ fiber ที่มีคุณลักษณะของวัสดุเป็นอุดมคติ (ideal) parabolic profile จะประมาณเท่ากับความยาวทางเดินของลำแสงทั้งหมด และเกิดขึ้นใกล้เคียงกับแถบความถี่ (bandwidth) สูงสุดที่จะเป็นไปได้กับ fiber แบบ multimode ซึ่งความจริงที่สำคัญนี้จะกล่าวโดยละเอียดในภายหลัง

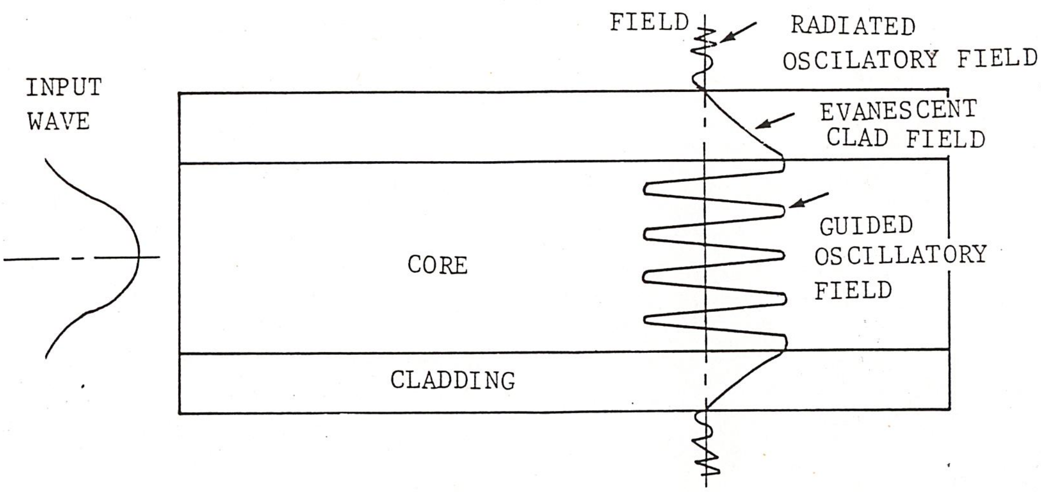


รูปที่ 2.5 Fiber optic cable

Mode mechanism

การแพร่กระจาย (propagation) แสงใน fiber optic ถูกบังคับด้วยสมการสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของ Maxwell ซึ่งสามารถบอกถึงจำนวนที่แน่นอนของ mode ได้โดยจำนวน mode และมุมซึ่งมันแพร่กระจายไปตาม fiber นั้นหาได้จากทฤษฎีที่อยู่ในรูปของสมการ

นั่นคือ แสงที่เข้าไปใน fiber มิได้แพร่กระจายไปในลักษณะ random แต่ channel เป็น mode แทน โดย mode หนึ่งก็เป็น unique characteristics wave-pattren ที่เป็นไปตามสมการสนามดังกล่าว แต่ละ mode จะนำพลังงานแสงทั้งหมดเป็นส่วน ๆ ไป (แต่ไม่เท่ากัน) และแต่ละ mode ก็มีรูปแบบการกระจายคลื่นเฉพาะตัว mode ดังกล่าวอาจเปรียบได้กับลำแสงที่ได้อธิบายในหัวข้อที่แล้ว อนึ่งแนวความคิดเรื่อง mode นี้จะใช้ประโยชน์ภายหลังบทนี้ เมื่ออธิบายถึงข้อจำกัดของแถบความถี่ของ fiber



รูปที่ 2.6 สนามใน grade-index fiber

จากสมการของ Maxwell's แสดงให้เห็นว่า แสงอาจแพร่กระจายภายในไปใน cladding ด้วย หว่าสนามทางแสง (optical field) ใน cladding นั้นเป็นสนามที่ยังไม่ยั่งยืนเพราะมันจะค่อย ๆหายไปตามความหนาของ cladding ในลักษณะ exponential

สำหรับจำนวน mode ที่ fiber สามารถ support ได้นั้นเป็นปริมาณที่ไม่มีขนาดปกติ จึงมักหมายถึง V-number โดยสมการของ V-number ประกอบด้วยคุณลักษณะสำคัญของ fiber คือ รัศมีของ core NA และความยาวคลื่นใช้งาน

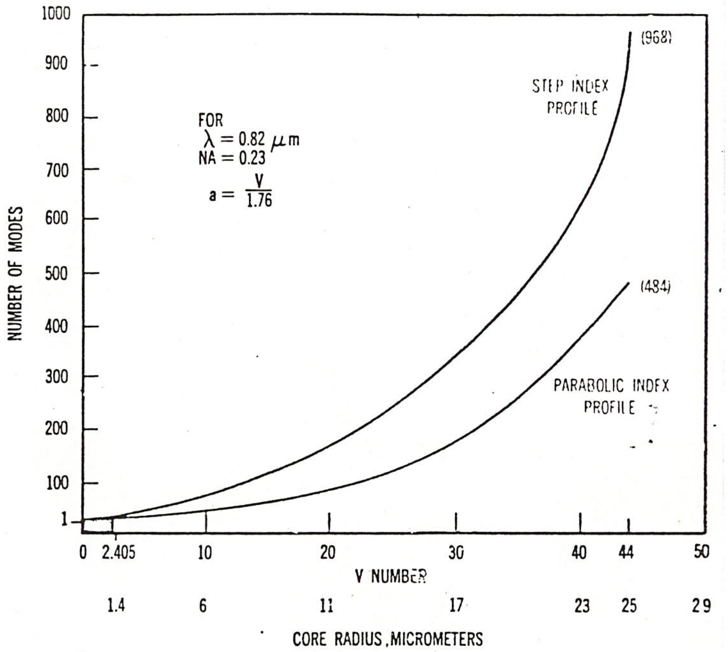
$$V = 2\pi (a/\lambda) NA$$
$$= (2\pi a n_1)/\lambda * (\sqrt{2\Delta}) \qquad \text{............(4)}$$

เมื่อ เป็นความยาวคลื่นของแสงที่ส่งด้วย fiber

จากการ plot ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวน mode กับ V-number และรัศมี core ของ fiberทั่ว ๆ ไป (รูปที่ 2.7) แสดงให้เห็นว่า fiber ที่มี core ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 um ทั่ว ๆ ไป จะมี propagating mode หลายร้อย mode และสามารถแสดงได้ว่าจำนวนของ propagatig mode นั้นประมาณเท่ากับ

$M = V^2/4$ สำหรับ parabolic graded index ......(5.1)

$M = V^2/2$ สำหรับ step index ....(5.2)



รูปที่ 2.7 จำนวน transmission mode เพิ่มขึ้นตามรัศมี Core ของ fiber และ V-number ในกรณี fiber ชนิด step-index จะเพิ่มขึ้นเร็วกว่า parabolic graded-index และสำหรับค่าความยาวคลื่น NA กับรัศมี core ของ fiber ตามที่แสดงนี้ fiber จะ carry เพียง mode เดียวเมื่อรัศมี core ต่ำกว่า 1.4 um

ก่อนที่เราจะผ่านหัวข้อนี้ไป ขอกล่าวถึงกรณีพิเศษที่สำคัญมากอันหนึ่ง นั่นคือการแพร่กระจายแบบ mode เดียว ดังรูปที่ 2.6 จะเป็นการแพร่กระจายแบบ mode เมื่อ V-number มีค่าต่ำกว่า 2.045 ซึ่งค่าในที่นี้ mode อื่น ๆ ทั้งหมดถูก cut-off หมด ดังนั้นหากจะให้ได้ V-number ที่ต่ำมาก ๆ ในย่านของความยาวคลื่นทำงานที่คาดไว้ (0.82 - 1.6 um) แล้ว ผลคูณของรัศมี core กับ NA ต้องมีค่าน้อย ๆ มากทีเดียว

$$a/\triangle \quad < \quad 0.24 \quad \text{for} \quad 1.3 \quad \text{um}$$
$$a/\triangle \quad < \quad 0.15 \quad \text{for} \quad 0.82 \quad \text{um} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots(6)$$

จากสมการที่ (6) แสดงว่า fiber แบบ mode เดียว มีเส้นผ่าศูนย์กลาง core เล็กมาก (โดยทั่ว ๆ ไป น้อยกว่า 10 um) และต้องทำให้มีผลต่างของดรรชนี (index difference) หรือ น้อยด้วย

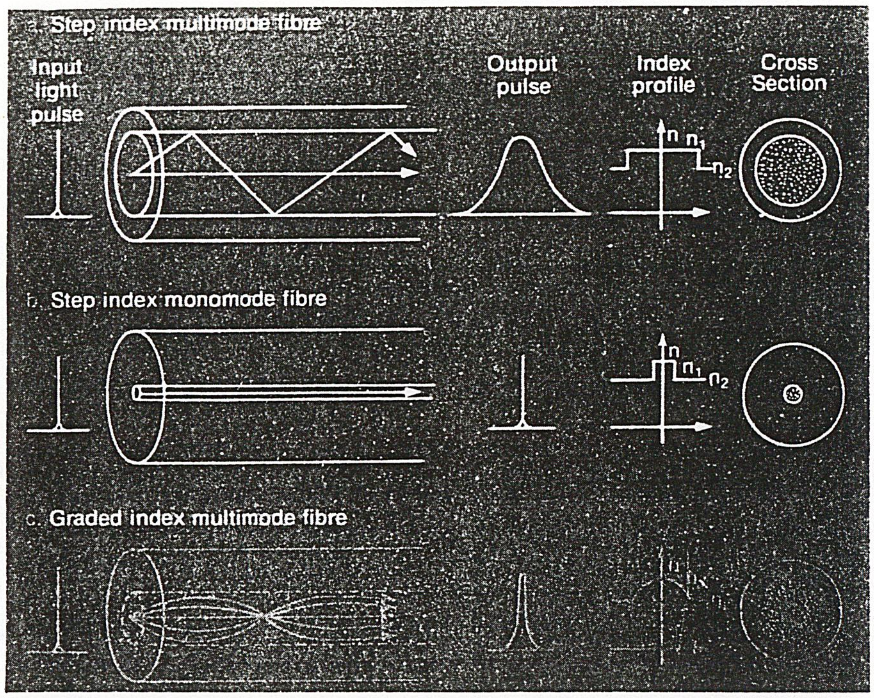
2.6 ประเภทของ Fiber optic

Fiber optic สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ คือ แบ่งตาม propagation mode สารที่ใช้ทำ และโครงสร้าง

1. Propagtion mode แบ่งย่อยลงได้อีก 3 ชนิดคือ
1.1 Single mode (monomode) step index fiber
1.2 Multi mode step index fiber
1.3 multi graded index fiber

Single mode step-index fiber

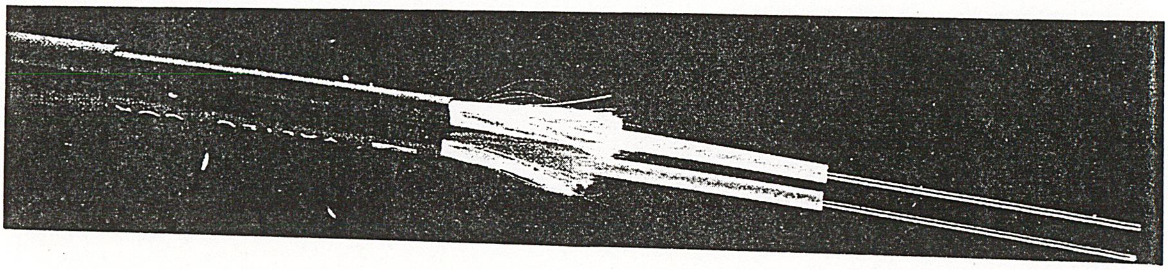
Fiber ชนิดนี้มี core ค่อนข้างเล็กมาก (ราว 2 - 3 um) มันจะยอมรับเฉพาะ order mode ต่ำสุดเท่านั้น และไม่ทนต่อ mode dispersion จัดว่าเป็น fiber ที่มีราคาแพงและต้องใช้แหล่งกำเนิดแสง (source) ที่มีกำลังสูงมาก ๆ และเป็น highly directional เช่น laser diode ดังนั้นจึงมักใช้ในระบบที่ไกล ๆ และอัตราส่งข้อมูลมาก ๆ

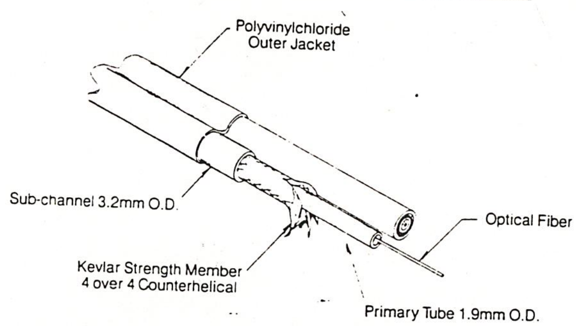


รูปที่ 2.8 Fiber optic แบ่งตาม propagation mode single mode step-index fiber

Multi mode step-index fiber

Fiber optic ส่วนใหญ่โดยเฉพาะที่เป็นแบบพลาสติคทั้งหมด มักจะทำให้อยู่ในรูปของเป็นกลุ่มหรือ bundle ซึ่งปกติจะจำกัดการใช้งานอยู่ในความถี่ที่ต่ำมาก และระยะใกล้ ๆ โดย bundle ทั้งหมดอาจต่อเข้ากับ source และ senser ชุดเดียวหรือหลาย ๆ ชุดที่ปลายด้านหนึ่งก็ได้ นอกจากนี้อาจใช้ bundle ในการต่อ array ของ source ต่าง ๆ เข้ากับ array ที่ match กันได้อีกด้วย อันนี้จึงทำให้สามารถต่อ channel ของสัญญาณโดด ๆ (discrete signal) หลาย ๆ ชุดได้โดยไม่ต้องใช้เทคนิคของการ multiplex เข้าช่วย cable แต่ละ fiber ปกติแล้วจะแยกกันเป็นแต่ละเปลือก (jacket) ตัวอย่างเช่น fiber ที่จัด array แบบ ribbon หรือเป็นแถบ ๆ พบกันใช้บ่อย ๆ ในระบบโทรศัพท์ที่ใช้ fiber optic โดยปกติ fiber มี bandwidth เป็นหน่วย MHz-Km.กล่าวคือ cable 200 MHz -Km. จะสามารถส่งข้อมูลที่มีความถี่ 200 MHz ไปได้ไกลถึง 1 Km. หรือที่ความถี่ 100 MHz ก็จะไปได้ไกลถึง 2 Km. เป็นต้น อันนี้เป็นผลของการยืด pulse เนื่องจากความยาวของทางเดินที่แตกต่างกันอันเกิดจากลักษณะการแพร่กระจายของ fiber





Specifications: Duplex Computer Cable

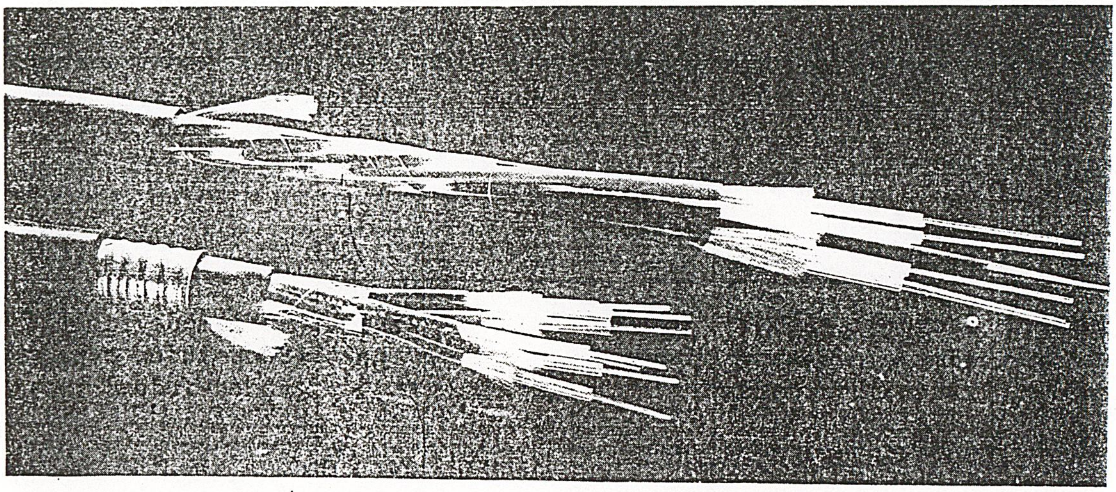
Optical

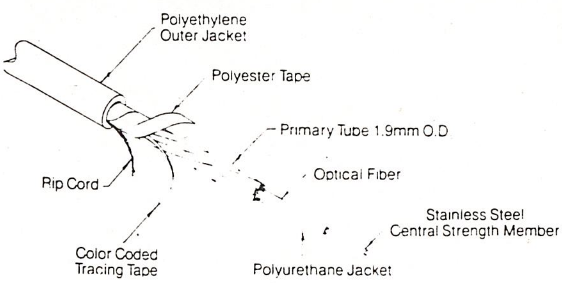
Number of fibers	2	
Maximum attenuation @ 800nm	12	dB/km
Minimum bandwith (− 3dB)@ 800nm	25	MHz-km
Fiber core diameter, nominal	250	μm
Fiber cladding diameter, nominal	350	μm
Buffer diameter, nominal	550	μm
Numerical aperture, nominal	.3	

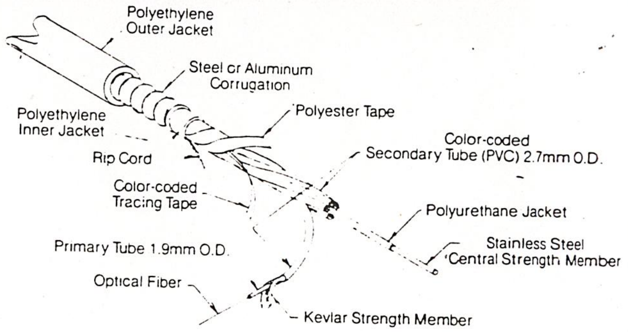
รูปที่ 2.9 step-index fiber PC10 ของ VALTEC สำหรับใช้กับ computer

<u>Multi mode graded- inedx fiber</u>

ความยาวของสายยิ่งมาก ความแตกต่างของทางเดิน (เช่นระหว่าง order mode ต่ำสุดกับ order mode สูงอันหนึ่ง) จะยิ่งมากขึ้น เพราะฉะนั้นเพื่อที่จะเอาชนะการผิดเพี้ยนอันเนื่องจากความแตกต่างของความยาวของทางเดิน บริษัทผู้ผลิต fiber จึงได้พัฒนา garded-index fiber ขึ้นมา fiber แบบนี้ bandwidth สูงกว่าแบบ multi mode step-index







Optical

Number of fibers	4,5 or 6	-
*Maximum attenuation @ 850nm	3.5 4.0 5.0	dB/km
*Minimum bandwidth (– 3dB)@ 850nm	200 400 600	MHz-km
Fiber core diameter, nominal	50	μm
Fiber cladding diameter, nominal	125	μm
Buffer diameter, nominal	250	μm
Numerical Aperture, nominal	.2	

รูปที่ 2.10 Graded index optical fiber MG05 ของ VALTEC สำหรับงานด้านโทรคมนาคม

FUNCTIONAL DESCRIPTION (figure 1)

The NE564 is a monolithic phase locked loop with a post detection processor. The use of Schottky clamped transistors and optimized device geometries extends the frequency of operation to greater than 50MHz. In addition to the classical PLL applications, the NE564 can be used as a modulator with a controllable frequency deviation.

The output voltage of the PLL can be written as shown in the following equation:

$$V_O = \frac{(f_{in} - f_o)}{K_{VCO}} \qquad \text{Equation 1}$$

K_{VCO} = conversion gain of the VCO
f_{in} = frequency of the input signal
f_o = free running frequency of the VCO

The process of recovering FSK signals involves the conversion of the PLL output into logic compatible signals. For high data rates, a considerable amount of carrier will be present at the output of the PLL due to the wideband nature of the loop filter. To avoid the use of complicated filters, a comparator with hysteresis or Schmitt trigger is required. With the conversion gain of the VCO fixed, the output voltage as given by Equation 1 varies according to the frequency deviation of f_{in} from f_o. Since this differs from system to system, it is necessary that the hysteresis of the Schmitt trigger be capable of being changed, so that it can be optimized for a particular system. This is accomplished in the 564 by varying the voltage at pin 15 which results in a change of the hysteresis of the Schmitt trigger.

For FSK signals, an important factor to be considered is the drift in the free running frequency of the VCO itself. If this changes due to temperature, according to Equation 1 it will lead to a change in the dc levels of the PLL output, and consequently to errors in the digital output signal. This is especially true for narrow band signals where the deviation in f_{in} itself may be less than the change in f_o due to temperature. This effect can be eliminated if the dc or average value of the signal is retrieved and used as the reference to the comparator. In this manner, variations in the dc levels of the PLL output do not affect the FSK output.

VCO Section

Due to its inherent high frequency performance, an emitter coupled oscillator is used in the VCO. In the circuit, shown in the equivalent schematic, transistors Q_{21} and Q_{23} with current sources $Q_{25} - Q_{26}$ form the basic oscillator. The approximate free running frequency of the oscillator is shown in the following equation:

$$f_o = \frac{1}{22 R_C (C_1 + C_S)} \qquad \text{Equation 2}$$

$R_C = R_{19} = R_{20} = 100\Omega$ (INTERNAL)
C_1 = external frequency setting capacitor
C_S = stray capacitance

Variation of V_d (phase detector output voltage) changes the frequency of the oscillator. As indicated by Equation 2, the frequency of the oscillator has a negative

5

EQUIVALENT SCHEMATIC

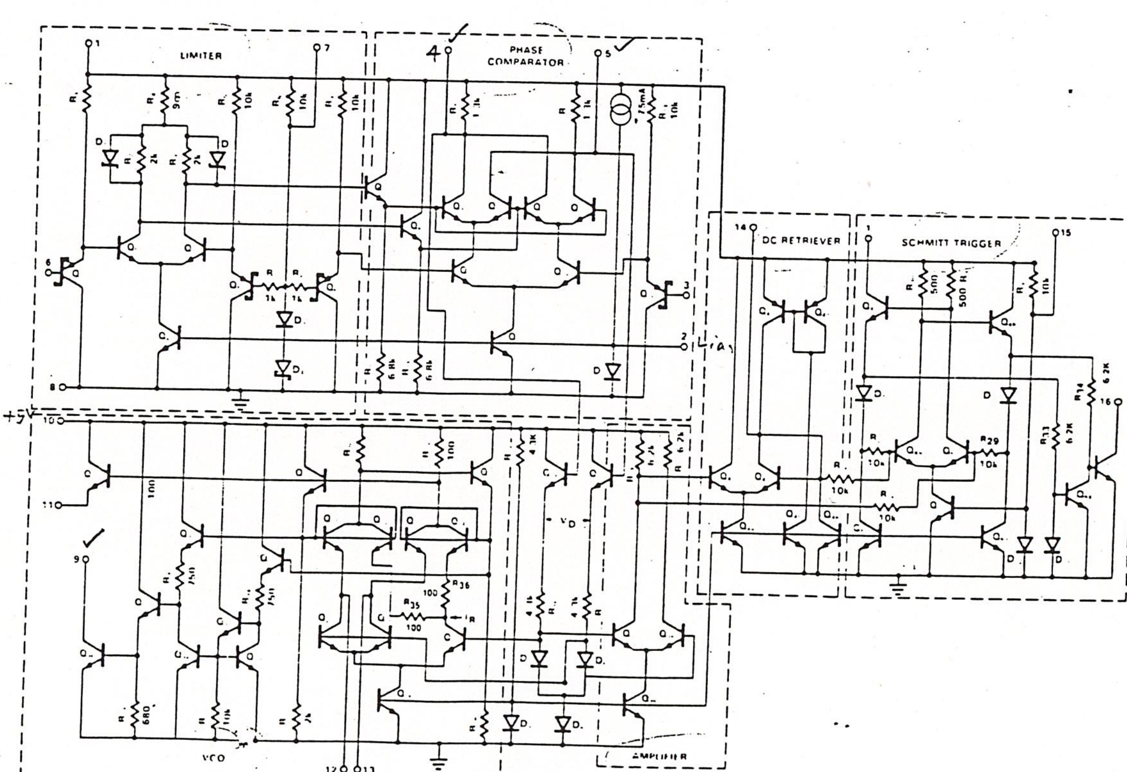


Figure 1

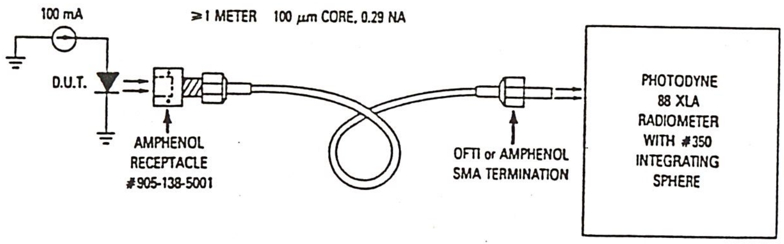


Figure 7. Launched Power Test Set

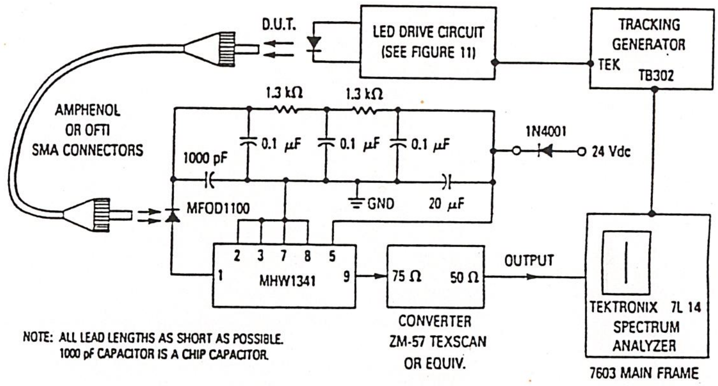
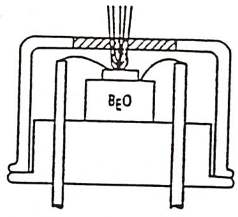


Figure 8. Bandwidth Test Set

9

AVERAGE COUPLING EFFICIENCY		
Fiber Core Diameter (μm)	Numerical Aperture	Coupling Efficiency (%)
200	0.4	28
100	0.29	4.5
85	0.26	2.6
62.5	0.28	1.6
50	0.2	0.7

Figure 9. Coupling Efficiency



COMPATIBLE WITH AMP #228756-1, AMPHENOL #905-138-5001, DEUTSCH 3146-04 AND OFTI # PCR001 RECEPTACLES USING MOTOROLA ALIGNMENT BUSHING MFOA06 (INCLUDED)

Figure 10. Package Cross Section

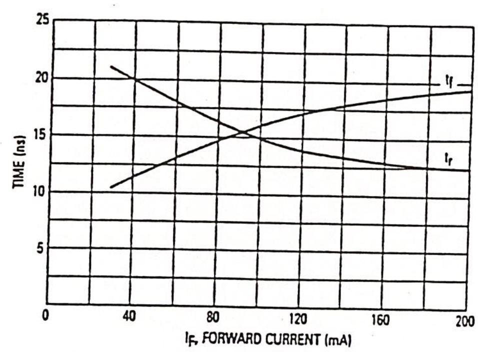


Figure 11. Rise and Fall Time versus Forward Current

MFOD1100

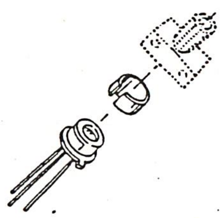
Fiber Optics — High Performance Family
Photo Detector
Diode Output

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

The MFOD1100 is designed for infrared radiation detection in high frequency Fiber Optics Systems. It is packaged in Motorola's hermetic TO-206AC (TO-52) case, and it fits directly into standard fiber optics connectors. The metal connectors provide excellent RFI immunity.

Features:
- Fast Response — 1 ns Max @ 5 Volts
- Analog Bandwidth (−3 dB) Greater Than 250 MHz
- Performance Matched to Motorola Fiber Optics Emitters
- TO-206AC (TO-52) Package — Small, Rugged, and Hermetic
- Compatible with AMP #228756-1, Amphenol #905-138-5001 and Radiall #F086600380 Receptacles Using Motorola Plastic Alignment Bushing MFOA06 (Included)

Applications:
- Medical Electronics
- Security Systems
- CATV
- Computer and Peripheral Equipment
- Industrial Controls
- M6800 Microprocessor Systems
- Video Systems
- Communication Systems



CASE 210A-01
METAL
STYLE 1

MAXIMUM RATINGS (T_A = 25°C unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
Reverse Voltage	V_R	50	Volts
Total Device Dissipation @ T_A = 25°C Derate above 25°C	P_D	50 0.5	mW mW/°C
Operating Temperature Range	T_A	−55 to +125	°C
Storage Temperature Range	T_{stg}	−65 to +150	°C

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_A = 25°C)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Dark Current (V_R = 5 V, R_L = 1 M, H ≈ 0, Figure 2)	I_D	—	—	1	nA
Reverse Breakdown Voltage (I_R = 10 μA)	$V_{(BR)R}$	50	—	—	Volts
Forward Voltage (I_F = 50 mA)	V_F	—	2	2.5	Volts
Total Capacitance (V_R = 5 V, f = 1 MHz)	C_T	—	—	2.5	pF
Noise Equivalent Power	NEP	—	50	—	$fW/\sqrt{Hz}$

OPTICAL CHARACTERISTICS (T_A = 25°C)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Responsivity @ 850 nm (V_R = 5 V, P = 10 μW, Figure 3, 5)	R	0.3	0.35	—	μA/μW
Response Time @ 850 nm (V_R = 20 V)	t_r, t_f	—	1.2	3	ns
Effective Input Port Diameter (Figure 4)	—	—	300 0.012	—	Microns Inches
10 dB (90%) Numerical Aperture of Input Port (Figure 4)	NA	—	0.4	—	—

TYPICAL CHARACTERISTICS

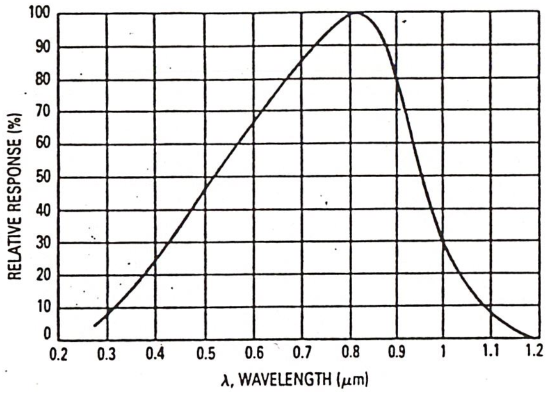


Figure 1. Relative Spectral Response

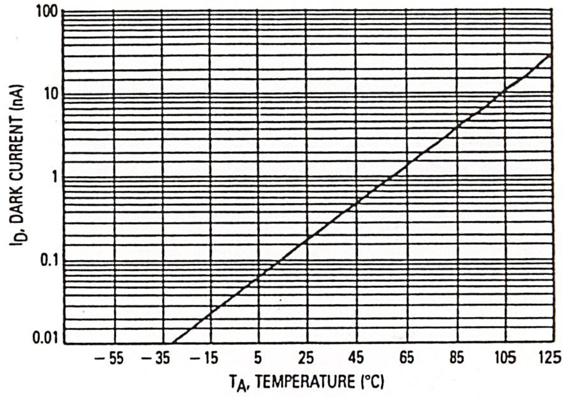


Figure 2. Dark Current versus Temperature

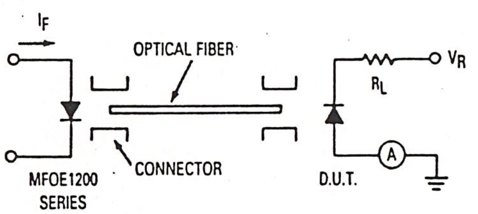


Figure 3. Responsivity Test Configu.ation

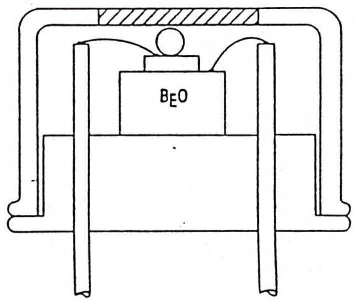


Figure 4. Package Cross Section