الأهداف

تم تحميل هذا البحث من موقع كتب ، www.kutub.info
للمزيد من الكتب والأبحاث في جميع مجالات التقنية ، تفضلوا بزيارتنا

يهدف هذا المشروع وبصورة عامة الي دراسة تقنية الألياف البصرية من حيث مكوناتها, استخداماتها ومميزاتها ويركزفي الأساس على استخدام تقنية الألياف البصرية في مجال هندسة الاتصالات حيث يهدف وبصورة محددة الي دراسة مكونات نظام الألياف البصرية وتطبيقاته, مراحل انتقال الضوء عبر الليف البصري وأنماط انتشاره. وكذلك دراسة انواع الألياف البصرية وتقسيماتها.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

الفصل الأول

المقدمة

1.1: الألياف البصرية (Optical Fibers) نظرة تاريخية.

2.1: الليف البصري ومراحل تطوره.

3.1: الألياف البصرية (Optical Fibers) وثورة الآتصالات.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

1.1: الألياف البصرية (Optical Fibers) نظرة تاريخية.

لقد استخدم الضوء للاتصال منذ أن خلق الله الأرض ومن عليها فبدونه لا يمكن أن نرى من حولنا وقد استخدمت الاشارات والمرايا العاكسة والمصابيح لنقل المعلومات ولكن مقدار المعلومات المنقولة محدودة ويمكن للاخرين الاطلاع عليها علاوة على التأثير السلبي للظروف البيئية. إن أول محاولة فعلية مدونه لاستخدام الاشارات كان عام 1791 من قبل كلود شابي في فرنسا ، إذا استخدم مجموعة من الابراج تحتوي على عدة أذرع لنقل معلومات مسافة 200 كليو متر يستغرق ارسال المعلومة الواحدة حوالي 15 دقيقة . في عام 1854م أجرى جون تايندل تجربة بسيطة بين أن الضوء يمكن ثنية إذا وجد الوسط الملائم وفي عام 1880م قام الكسندر جراهام بل بنقل الصوت عبر حزمة ضوئية وقد أجريت محاولات عديدة لاستخدام الاتصالات البصرية خلال هذا القرن ولكنها لم تلق النجاح لعدم توفر المنابع المناسبة علاوة على الاضطرابات الجوية كا لمطر والثلج والغبار والضباب مما حد من امكانية استخدامها . أدي اكتشاف الليزر عام 1960من قبل ثيودور ميمان الى تجدد الاهتمام بالاتصالات البصرية وفي عام 1966م اقترح كل من تشارس كاو وجورج هوكام تصنيع الياف زجاجية قليلة الفقد وفي عام 1970م تم تصنيع الياف بصرية مصنعة من مادة السليكا وبفقد 20ديسيبل لكل كليو متر بدلا من 1000 ديسيبل لكل كليومتر قبل ذلك الوقت . وفي غضون عشر سنوات ، تم تصنيع الياف بفقد يصل الى 20,. ديسيبل لكل كيلومتر عند الطول الموجي 1550 نانومتر .

2.1: الليف البصري ومراحل تطوره.

منذ أكثر من 25 عاما بدأ استخدام و تطبيق الالياف البصرية كخطوط اتصال مما مهد لحصول ثورة في عالم الاتصالات من حيث الكم الهائل للمعلومات و التي أصبح بالإمكان نقلها عبر هذه الخطوط لمسافات طويلة و بنوعية عالية الجودة . لقد كانت فكرة استخدام الضوء كوسيلة للاتصال قديمة جداً عندما

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

(Photo phone) وذلك من أجل إرسال الصوت عبر الضوء. بعد ذلك بدأت محاولات إرسال الضوء عبر الفراغ المحيط بنا منذ اختراع و تصنيع الليزر في العام 1958 و التي كانت تتطلب عدم وجود عوائق ومدى رؤيا مستقيم. في العام 1970 كانت البدايات الفعلية لمحاولة إرسال الضوء عبر ألياف زجاجية ذات معدل توهين أقل من 20 B/km وفى نطاق معامل التجارب ، بعد ذلك توالت الأبحاث لتطوير إنتاج ألياف بصرية من الزجاج النقي و بمعدلات توهين أقل حيث تمكنت في أواسط السبعينيات من القرن الماضي شركة Corning Inc من تصنيع كيبلات بصرية وطرحها في الأسواق التجارية.

لقد جاء تطوير وتصنيع الألياف البصرية على مراحل ، حيث كانت في المرحلة الأولى تعمل علي الطول الموجي 850 nm و التي سميت النافذة الأولى (First Window) بمعدل توهين لغاية 3 dB/Km و الذي كان إنجاز عظيماً في وقته . انتقلت الشركات المصنعة إلي النافذة التالية (Second Window) حيث تم تصنيع ألياف بصرية تعمل على الطول الموجي 1300 nm بمعدل توهين إلى حوالي 0.5 dB/Km. في نهاية العام 1977 قامت شركة (NTT) بالانتقال إلي النافذة الثالثة Third Window وذلك باستخدام الطول الموجي 1550 nm حيث أمكن الحصول على ألياف زجاجية بمعدل توهين حوالي 0.2 Db/Km و الذي يعتبر نظريا أقل حد ممكن لقيمة الفقد في الليف زجاجية . في السنوات الحالية جميع الأطوال الموحية السابقة الذكر تصنع و تعمل في معظم دول العالم إن لم يكن جميعها. لقد بدأ التطبيق و الاستخدام الفعلي لأنظمة الاتصالات البصرية في بداية السبعينيات من القرن الماضي و ذلك من قبل القوات المسلحة الأمريكية حيث تم تركيب كيبل بصري لنقل المكالمات الهاتفية تبعه مشروع القوات الجوية

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

(Airborne Light Optical Fiber Technology) في العام 1976 توالت بعد ذلك الاستخدامات التجارية حيث قامت شركتا AT&Tو GTE في العام 1977 بإنشاء و تركيب أنظمة اتصالات بصرية في كل من شيكاغو و بوسطن. بعد ذلك قامت شركة (Bell) في العام 1980 بانتشار و تركيب نظام اتصال بصري بطول 611 ميل وذلك في شمال الولايات المتحدة الأمريكية . لقد كان تصنيع الالياف أحادية النمط في بداية الثمانينات من القرن الماضي بمثابة نقلة نوعية في الاتصالات بعيدة المدى حيث كانت و ما زالت تعمل على الطول الموجي 1300 nm أو 1550 nm أصبحت بدون منافس من حيث مسافة و سعة الارسال لقد توالت الأبحاث و الابتكارات في مجال زيادة سعة الارسال للف البصري و الوصول إلى مسافات إرسال خيالية ، حيث تم تطوير تقنية تجميع القنوات باستخدام التقسيم الطول موجي (WDM) كذلك طريقة ما يسمى (Sol tons Transmission) حيث قامت شركة (Bell Labs) في العام 1990 بتجربة إرسال 2.5 Gbit/s لمسافة 7500 Km مستخدمة المكبرات الضوئية من نوع (EDFA) بدون الحاجة لمحطات التقوية و إعادة البث (Regenerators) . بعد ذلك و في العام 1998 كانت هنالك تجربة إرسال 100 قناة اتصال عبر ليف بصري واحد لمسافة 400 Km(كل قناة علي سرعة 10 Gbit/s) حيث استخدمت تقنية WDMالمضغوطة و التي أصبحت تعرف

(Dense Wavelength – Division Multiplexing) أو اختصاراً (DWDM) .

3.1: الألياف البصرية (Optical Fibers) وثورة الآتصالات.

انتقلت اتصالات الألياف البصرية (Optical Fibers) من أنظمة بسيطة لإصال الضوء الى أماكن يصعب الوصول اليها الى أنظمة تؤثر على حياتنا كالتي أحدثتها الإكترونيات والحاسبات . تمتلك الألياف البصرية مزايا عديدة

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

www.manaraa.com

تمكن (Wavelength Division Mull) – (WDM) telexing) الباحثون من تطعيم الألياف الزجاجية بمادة الاربيوم (Er.) مما أعطى دفعة قوية لاستخدام أنظمة الالياف البصرية عند الطول الموجي 1550 نانومتر أدي ذلك التطعيم للحصول على مضخمات ذات كسب مرتفع أطلق عليها مضخمات ذات كسب مرتفع اطلق عليها مضخمات الليف المطعم بالأربيوم Erbium) (EDFA's) (Fiber Amplifiers) Doped) والتي وجدت استخداما واسعاً في خطوط النقل ولم يقتصر استخدام الألياف المطعمة بمادة الاربيوم على المضخات فحسب بل تعداها لتشمل استخدام الليزر والمفاتيح وكثير من النبائط غير الخطية . كما أن مضخمات (EDFA's) قد مهدت الطريق لأنظمة اتصالات سريعة وبروز أنظمة نقل تعتمد على استخدام نبضات طبيعية (Sol tons) والتي تمكنها من قطع مسافات طويلة دون تشوه. أدت هذه التطورات السريعة الى شيوع استخدام أنظمة الاتصالات الليفية البصرية في كافة مجالات الاتصالات بدءاً من الوصلات للمستخدم حتى الاتصالات بعيدة المدى سواء في اليابسة أو عبر البحار. والألياف البصرية هي ألياف مصنوعة من الزجاج النقي طويلة ورفيعة لا يتعدى سمكها سمك الشعرة يجمع العديد من هذه الألياف في حزم داخل الكيبلات البصرية وتستخدم في نقل الإشارات الضوئية لمسافات بعيدة جداً.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

الفصل الثاني

مكونات الألياف البصرية, استخداماتها, مميزاتها وانواعها.

1.2: مكونات الليف البصري

2.2: أنواع الألياف البصرية - Types of Optical Fibers

3.2: ميزات الألياف البصرية - Advantages of Optical Fibers

4.2: كيفية انتقال الضوء في الألياف البصرية.

5.2: استخدام الألياف البصرية في الاتصالات.

6.2: تطبيقات عملية على استخدام الألياف البصرية.

7.2: النظام الليفي البصري

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

1.2: مكونات الليف البصري.

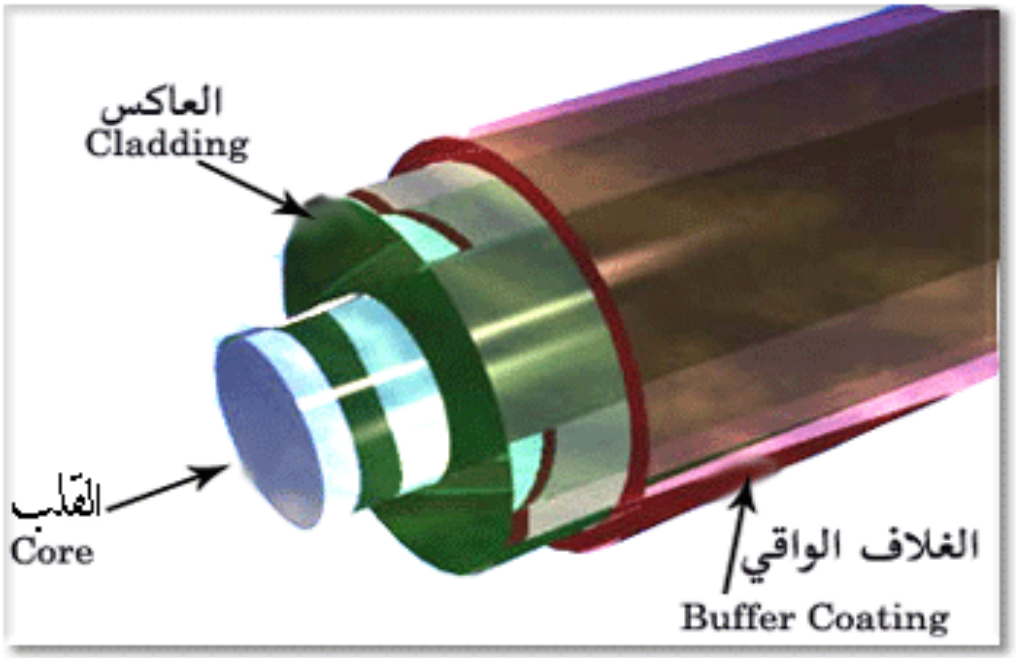
يتكون الليف البصري من ثلاثة أجزاء رئيسية وهي كالآتي:-

1.1.2: القلب (Core) وهو عبارة عن زجاج رفيع ينتقل فيه الضوء.

2.1.2: العاكس (Cladding): مادة تحيط باللب الزجاجي وتعمل على عكس الضوء مرة أخرى إلى مركز الليف البصري.

3.1.2: الغطاء الواقي (Buffer Coating): غلاف بلاستيكي يحمي الليف البصري من الرطوبة أو ويحميه من الضرر و الكسر.

ألشكل 1.2 مكونات اليف البصري.



2.2: أنواع الألياف البصرية - Types of Optical Fibers .

تصنف الألياف البصرية الى ثلاثة أنواع تبعاً لأنماطها وتركيبها وهي كما يلي :-

ألياف متعددة النمط وبمعامل انكسار عتبي (**Multimode Step Index Fibers**)

يتألف الليف البصري من جزئيين أساسيين هما لب الليف والذي يشغل مركز الليف يحيط به كساء يضاف لذلك طبقة واقية تسمى الغلاف . يصنع هذا النوع من الألياف البصرية من عناصر مختلفة من الزجاج ومركباته أو من السليكا

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

1.2.2: ألياف متعددة النمط وبمعامل انكسار متدرج.

Multimode Graded Index Fibres.

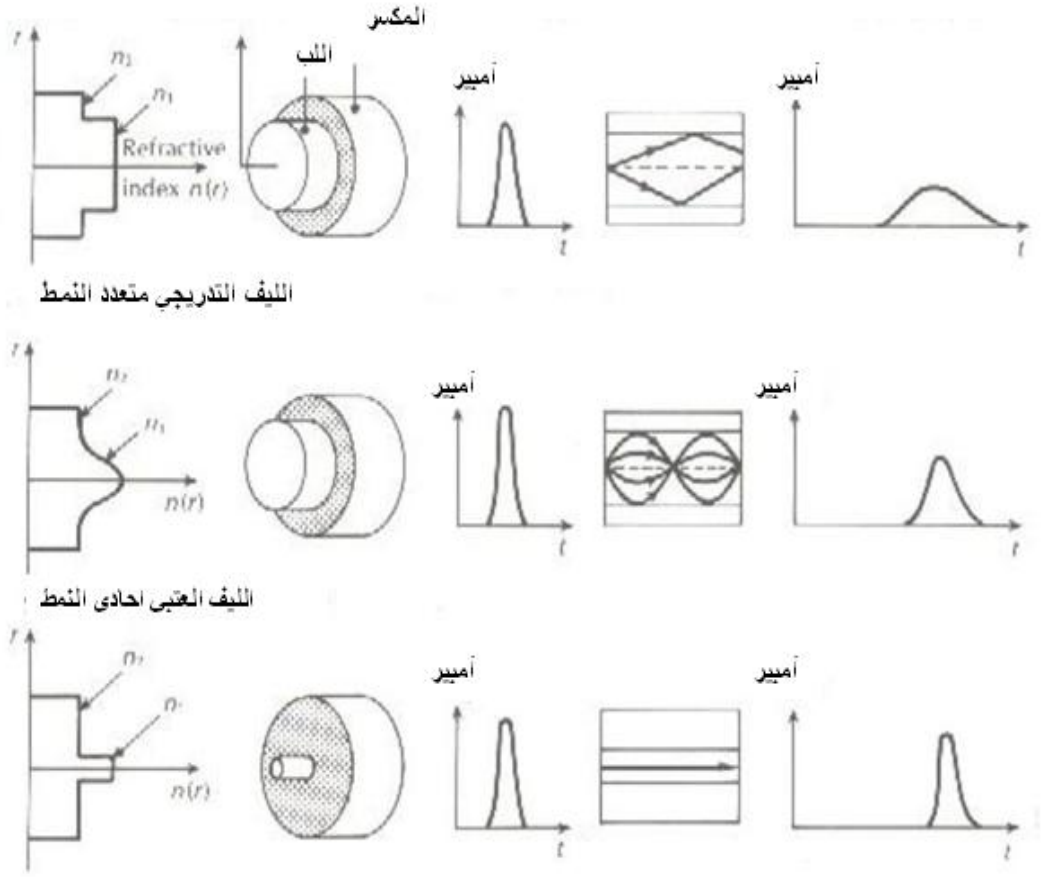
معامل انكسار هذه الألياف متدرج إذ تبلغ أعلى قيمة له في مركز الليف وتقل قيمة معامل الانكسار بصفة تدريجية كلما اتجهنا نحو الكساء حيث تكون قيمة معامل الانكسار ثابتة ويصنع هذا النوع من الألياف من عدد من العناصر الزجاجي أو السليكا المطعمة. إن أداء الألياف متعددة النمط ومتدرجة معامل الانكسار يتفوق على أداء الألياف متعددة النمط ذات معامل الانكسار العتبي نظراً لتدرج معامل الانكسار وقلة التوهين فيها غير أن قطر اللب في الألياف متعددة النمط ومتدرجة معامل الانكسار أقل من قطر اللب في الألياف متعددة النمط ذات معامل الانكسار العتبي وتستخدم للمسافات المتوسطة وعرض نطاق متوسط عالي .

2.2.2: ألياف أحادية النمط - Single Mode Fibres.

قد يكون معامل انكسار الليف متعدد النمط متدرج أو عتبي ولكن معظم الألياف أحادية النمط الموجودة حالياً ذات معامل الموجودة حالياً ذات معامل انكسار عتبي . تتميز الألياف أحادية النمط بنوعيتها الممتازة كما أن عرض النطاق فيها كبير وتستعمل للمسافات الطويلة وتصنع من مادة السليكا المطعمة . ولو أن قطر اللب صغير جداً إلا أن قطر الكساء يبلغ أضعاف قطر اللب وذلك للتقليل من نسبة الفقد من الموجات المضمحلة (evanescent) التي تمتد داخل الكساء ومع

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

الأشكال 2.2 توضح اتساع النبض الناتج عن انتشار الضوء في كلا من الليف احادي النمط ومتعدد النمطز.



3.2: ميزات الألياف البصرية - Advantages of Optical Fibers .

للألياف البصرية مزايا عديدة جعلتها تتفوق على النظم الأخرى المستخدمة في مجال الاتصالات ومن هذه المميزات أن عرض طاقها عالي جداً, قطرها صغير و وزنها خفيف , لا يوجد تداخل بينها مهما قربت المسافة بينهما, لا تثأثر بالحث أو التداخل الكهرومغناطيسي, انخفاض في سعر تكلفة المكالمات, أكثر أماناً و سلامة, حياتها طويلة, تتحمل درجات حرارة عالية ولا تثأثر بالمواد

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

1.3.2: إن عرض النطاق المرتفع جدا يعني إمكانية نقل معلومات عالية جدا بواسطة ليفه بصرية واحدة. وقد تكون هذه المعلومات صور تلفزيونية أو مكالمات هاتفية أو معلومات للحواسيب أو مزيج منها. وقد تم تشغيل خطوط نقل معلومات بمعدل 10 جيجابت لكل ثانية مثل (SEA-ME-WE3,FLAG) وألا بحاث مستمرة في أنحاء العالم للحصول على أنظمة تعمل بمعدل معلومات أعلى ولمسافة أطول وقد أجريت تجارب لنقل 2,64 تيرابت لكل ثانية بنظام صية لمسافة 120كم مستخدمين الياف أحادية النمط . من الناحية النظرية فإن عرض نطاق ليفه بصرية واحدة في حدود 10 جيجاهرتز ، فلو فرضنا أن المسافة بين المكررات تبلغ 100كم وبإمكاننا أن نضع مجموعة منها ضمن كابل واحد. وهذا بالطبع يعني منبعا لا ينضب من وسائل نقل المعلومات ويتناسب عرض النطاق تناسب طردياً مع أعلى معدل لنقل المعلومات أو سعة نقل المعلومات (Information Carrying Capacity).

2.3.2: قطرها صغير ووزنها خفيف ، يبلغ سمك الليفة البصرية سمك الشعرة. وعلى الرغم من أن هناك طبقات وأقية توضع فوقها إلانها لاتزال أقل حجما ووزنا من الاسلاك الهاتفية أو المحورية ومثالاً على ذلك أن ليف بصري بقطر يبلغ 125 مايكرومتر ضمن كابل يبلغ قطرة 6 ملم يمكن له أن يحل محل كابل هاتفي قطرة 8سم. ويحتوي على 900 زوج من الخطوط السلكية النحاسية وهذا يعني أن الحجم قد أنخفض بنسبة تزيد عن 10 : 1 وكمثال آخر على صغر حجم الكابلات البصرية فإن كابلات محورية بطول 230 متر وقطر 46 سم وتزن 7 طن كانت تستخدم في نظام رادار متقدم على ظهر أحد السفن تم استبدالها بكابلات بصرية تزن 18 كغم وقطرها 2,5سم. مما سبق يتضح لنا إمكانية إضافة كابلات بصرية في نفس مسارات الكبلات النحاسية والمحورية في شتى

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

3.3.2: نلاحظ أحيانا عند إجراء محادثة هاتفية سماع أصوات محادثات هاتفية أخرى وهو ما يطلق علية باللغط (CROSSTALK) وهذا النوع من التداخل لايحدث عند استخدام الألياف البصرية مهما قربت المسافة بينهما.

4.3.2: تتمتع الألياف البصرية لكونها مصنعة من مواد عازلة (dielectrics) بعدم تأثرها بالحث الكهرومغناطيسي الصادر من مصادر الكهرومغناطيسية الصناعية كالمحركات والمولدات وأجهزة الكهربائية المختلفة أو الطبيعية كالبرق وتلك الخاصية تغنينا عن وضع مواد عازلة لحمايتها من الحث والتداخل.

5.3.2: تصنع معظم الألياف البصرية في وقتنا الحاضر من مادة السليكا والموجودة بكثرة في الرمل والتي يقل سعرها كثيراً عن معدن النحاس الذي بدأ بنفذ في أماكن كثيرة من العالم ونظراً للميزات التي ذكرناها في البنود 3.2 فإن ثمن نقل المعلومات بأنواعها المختلفة سيقل عن الانظمة المختلفة الاخرى.

6.3.2: نظراً لأن الضوء هو الوسط الناقل للمعلومات في الألياف البصرية ولا يولد هذا الضوء أى مجال مغناطيسي خارج الكابل فإن من الصعوبة إمكانية التجسس ومعرفة المعلومات التي يحويها الكابل البصري كما أنه من الصعوبة معرفة وجود الكابل البصري بسبب المادة المصنع منها ولا يوجد جزء معدني إلافي بعض الحالات حيث تتم اضافة كابل فولاذي لتقوية الكابل البصري ، أو تسليح معدني لحماية الكابل من القوارض والأحمال الخارجية . أما الميزة

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

7.3.2: يتوقع أن يكون عمر الألياف البصرية في حدود 25 عاماً مقارنة بخمس عشر عاماً للنظم الأخرى حيث أن المكونات الأساسية للألياف هي الزجاج والذي لا يصدأ على عكس النظم الأخرى والتي تحوي على معادن تتعرض للصدأ

.

8.3.2: يمكن للزجاج أن يتعرض لدرجات حرارة متفاوتة من حيث الانخفاض والارتفاع كما يمكن استخدامه في أجواء تحتوي على مواد كيميائية مختلفة دون أن يتعرض للتلف.

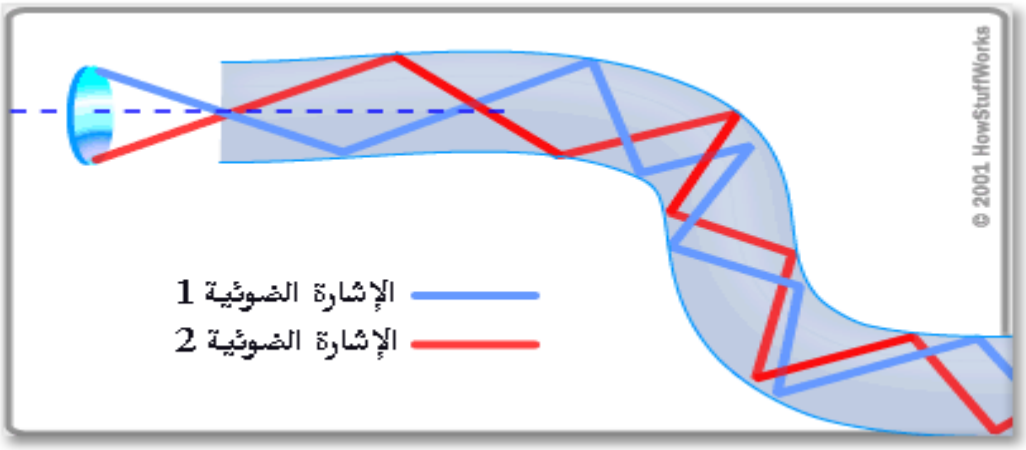
9.3.2: وضعت المكررات (Repeaters)على مسافة 100 كم بين مكرر وآخر وهذا يقلل من عدد المكررات وبالتالي من صيانة النظم كما يزيد من الاعتماد على النظام لقلة الأجهزة المستخدمة بينما المسافة بين المكررات في النظام الهاتفي المستخدم حالياً تتراوح بين 4 الى 6 كم.

4.2: كيفية انتقال الضوء في الألياف البصرية.

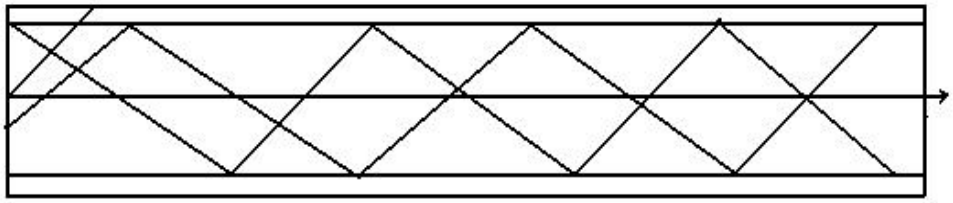
تنتقل الإشارات الضوئية في الكيبلات البصرية خلال الليف الزجاجي الرفيع (Core)وذلك عن طريق الانعكاسات المتتالية للضوء والتي يحدثها العاكس (Cladding)المحيط بالقلب الزجاجي والذي يعمل كمرآة عاكسة للضوء . ولأن العاكس لا يمتص الضوء الساقط عليه بل يقوم بعكسه إلى داخل

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

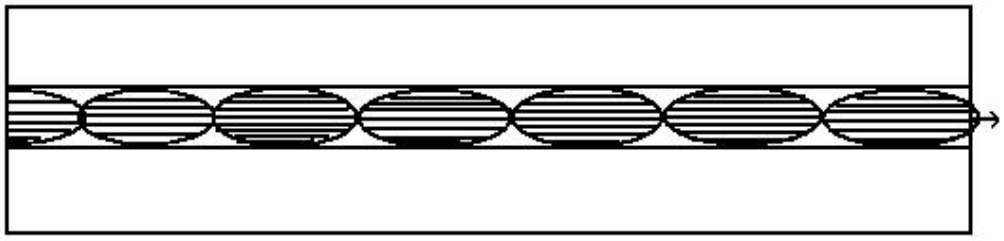
الأشكال 3.2 توضح انتقال الضوء في اليف البصري.



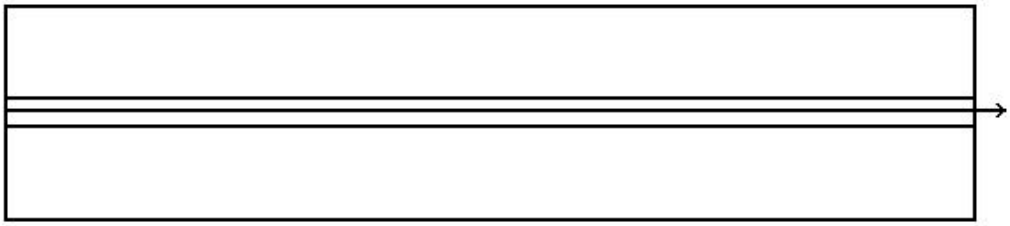
المنارة للاستشارات
www.manaraa.com



A النقل متعدد الحالة المتدرج



B النقل متعدد الحالة الفجائي



C وحيد الحالة

5.2: استخدام الألياف البصرية في الاتصالات.

تتكون وحدة الاتصالات بالألياف البصرية من اللآتي :-

1.5.2: الألياف البصرية (Optical Fibers) تعمل هذه الألياف على توصيل ونقل المعلومات كإشارات ضوئية ولمسافات طويلة.

2.5.2: مجدد أو معزز الإشارات الضوئية (Optical Regenerator) .

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

وهذا ضروري لتعزيز الإشارات وتقويتها حتى لا تضعف وتتلاشى خلال رحلتها الطويلة عبر الكيبلات البصرية . كما ذكر سابقاً أن هناك بعضاً من الإشارات الضوئية التي تفقد أو تضعف خاصة عندما تسير لمسافات طويلة كالذي يحدث في الكيبلات الممتدة تحت سطح البحر والتي تستخدم في أغراض الاتصالات بين السفن والغواصات، وبالتالي تعالج هذه الكيبلات البصرية بمعززات لهذه الإشارات تمتد على طول الكيبل وتعمل على تقوية الإشارات الضوئية .تتكون هذه المعززات من ألياف بصرية مغلفة بمادة خاصة، وعندما تسقط الإشارات الضوئية الضعيفة على جزيئات المادة فإنها تستثار لتعطي إشارات ضوئية قوية لها نفس خصائص الإشارات الضوئية الساقطة،أي أن الغلاف يعمل عمل الليزر(تَضخيم الضوء الساقط) وهكذا تستمر عملية انتقال الضوء لمسافات طويلة دون أن تفقد.

3.5.2: جهاز الإرسال - Transmitter.

فيه تدار الأجهزة لتعطي سلسلة من الومضات الضوئية المتعاقبة التي تولد الشفرات أو الإشارات الضوئية المرسلة .

4.5.2: جهاز الاستقبال - Receiver.

تستخدم في هذه المستقبلات خلايا ضوئية (Photocell)أو الثنائيات الضوئية (Photodiode)التي تتعرف وتكشف الإشارات الضوئية المرسلة وتحل شفرتها إلى إشارات كهربية تدير الأجهزة المختلفة كالتلفزيون ،والكمبيوتر،والهاتف...وغيرها.

6.2: تطبيقات عملية على استخدام الألياف البصرية.

رغم إن استخدام الألياف الضوئية لنقل المعلومات عبر المسافات الطويلة استحوذ على معظم الاهتمام إلا أنها تستخدم لنقل المعلومات عبر المسافات

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

7.2: النظام الليفي البصري (Optical Fibers System)

تمثل الألياف البصرية العنصر الأساسي في أنظمة الاتصالات الليفية البصرية وهي مكونة من مواد عازلة زجاجية أو بلاستيكية لها شكل اسطواني يسمى اللب محاطاً بطبقة أخرى تسمى الكساء. تستخدم الألياف البصرية كقنوات اتصال لنقل الضوء المحمل بالمعلومات من مكان إلى آخر. عند دخول الضوء بزاوية معينة تحدث انعكاسات داخل الليف عندما تتقابل مع الكساء ويتطلب ذلك أن يكون معامل انكسار اللب أكبر من معامل انكسار الكساء. بأخذ مقطع ليف بصري نرى انعكاس الضوء داخل الليف والذي يمكن تفسيره بنظرية الإشعاع وقانون سنل (Snell's Law) عند زاوية سقوط معينة تسمى الزاوية الحرجة ، نجد إن زاوية الإشعاع المنكسر تبلغ 90 درجة بالنسبة للخط العمودي أوموازية للحد الفاصل بين اللب والكساء وعندما تزداد زاوية السقوط عن حد معين ينعكس الإشعاع داخل اللب وهو ما يسمى بالانعكاس الداخلي الكلي (Total Internal Reflection) .

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

الفصل الثالث

الألياف البصرية خواصها, مكوناتها, تطبيقاتها وكيفية صنعها.

1.3: مكونات النظام (System Components)

2.3: تطبيقات الألياف البصرية (Optical Fiber Applications).

3.3: كيف تصنع الالياف البصرية

4.3: الضوء و البصريات الهندسية للألياف البصرية.

5.3: مراحل انتقال الضوء عبر اليف البصري.

6.3: أنماط الانتشار في الليف البصري (Fiber Modes) .

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

1.3: مكونات النظام - System Components

عند تصميم وصلة ليفية بصرية لابد من اعتبار ثلاثة عناصر رئيسية وهي التوهين, التشتيت و فتحة النفوذ العددية. ويتطلب ذلك عمل موازنة متعادلة لاختيار المكونات المختلفة للنظام الليفي البصري ، لوبدأنا من جهة الارسال فعلينا اختيار منبع ضوئي يبعث الضوء بطول موجي مناسب وعرض طيفي قليل وقدرة بصرية كافية لهذا الغرض ، ثم استخدام نوعين من المنابع وهما الأول الثنائيات الباعثة للضوء والثاني الثنائيات الليزر(Laser Diodes) . يتطلب اقتران الضوء من المنبع الى الليف وجود مواءمة جيدة بينهما كي تنقل أكبر قدر من القدرة البصرية الى الليف لذا لابد من العناية في اختيار المقرن المناسب الذي يعطي اقل فقد ممكن . نظراً لأن الالياف تنتج بأطوال محددة فلابد من ربط بعضها ببعض للحصول على الطول المطلوب وقد يؤدي ذلك الى حصول بعض الفقد في القدرة المنقولة و لهذا الفقد ثلاثة أسباب ، وهي

i عدم التراصف الزاوي.

ii تباعد الاطراف.

iii نعومة الاسطح وتوازيها.

وقد يحصل الفقد أيضا عند ربط الياف تختلف في اقطارها وفتحات نفوذها العددية . عند المستقبل يجب اختيارالكواشف التي تعمل بنفس الطول الموجي للمنبع ولها استجابية وكفاءة و كمية جيدتين ، زمن استجابة مناسب والحد الأدنى من القدرة القابلة للكشف . الكواشف المستخدمة في هذه الانظمة عادة هي ثنائي (PIN) وثنائي ضوئي جرفي APD .

1.1.3 : التوهين Attenuation.

يعتبر التوهين أحد العناصر الأساسية في تقويم أنظمة الاتصالات حيث تتعرض الموجات الحاملة للوهن عند انتشارها في قناة الاتصال نتيجة عوامل عديدة

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

2.1.3 التشتيت Dispersion.

التشتيت هو انبساط أو اتساع النبضة عند مرورها في قناة الاتصال وفي نظم الألياف البصرية ينقسم التشتيت الى نوعين:

i وهما التشتيت النمطي (Intermeddle dispersion) والذي يتم نتيجة سلوك الاشارات المرسلة مساوات مختلفة عند انتشارها داخل الليف مما يؤدي الى عدم وصولها في وقت واحد.

ii التشتيت الباطني وينقسم هذا التشتيت الى نوعين.

- ✓ تشتيت المادة - material dispersion .
- ✓ تشتيت الدليل الموجي (waveguide dispersion) يحصل هذا النوع من التشتيت في جميع أنواع الألياف البصرية وينتج من عرض خط المنبع البصري حيث أن المنابع البصرية لا تبث الضوء بطول موجي واحد بل بحزمة من الأطوال الموحية وحيث أن معامل انكسار الزجاج المستخدم في الألياف يتغير مع الطول الموجي فإن ذلك سيؤدي الى

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

3.1.3 : فتحة النفوذ التعددية - Numerical Aperture

يتطلب اقتران الضوء في اللب البصري وقوع شعاع ضمن زاوية معينة تدعى زاوية القبول ويعبر عن قدرة تجميع الضوء يجيب (Sine) زاوية القبول.

2.3: تطبيقات الألياف البصرية - Optical Fiber Applications .

تعرفنا في الأقسام السابقة على فوائد الألياف البصرية ومكونات النظام الليفي البصري ، مما لا شك فيه أن كثيرا من الحقول في المجالات المدنية والعسكرية بدأت تستفيد من هذه الفوائد ومن الصعب جداً التعرف على كل المجالات الممكن استخدام الألياف البصرية فيها وسنقوم في هذا القسم بالتعرف على بعض الاستخدامات العامة.

1.2.3: الاتصالات الهاتفية - Telephone Communications .

لعبت الأسلاك المجدولة والكابلات المحورية دوراً كبيراً في السنوات الماضية في مجال الاتصالات الهاتفية وبصفة خاصة بين البدالات ، وحيث أن أحد الصفات الهامة هي سعة الألياف البصرية ، فقد بدأت كثير من الشركات بالتفكير في بناء خطوط هاتفية جديدة وإحلال بعض الخطوط القديمة سواء كانت أسلاك مجدولة أو كابلات محورية وأول خط تجاري يستخدم الألياف البصرية في الولايات المتحدة بدأ تشغليه في 22 ابريل1977 م وقد استخدم الارسال الرقمي في هذا الخط ، كما أن المكررات كانت على مسافة 3.6 كيلومتر واستخدمت الثنائيات الباعثة للضوء (Light Emitting Diodes) في أجهزة الارسال وثنائيات الضوء الجرفية (avalanche photodiodes) في أجهزة الاستقبال وكانت سعة هذا الخط 24 مكالمة آنية وقد استخدم تشكيل الرمز النبضي

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

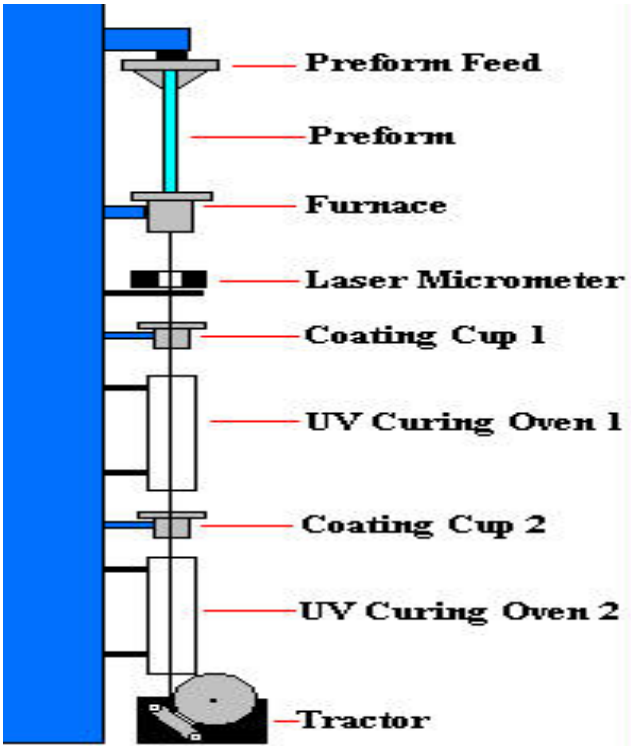
2.2.3: الاتصالات التلفزيونية - TV communications.

بدأ أول استخدام الألياف البصرية بربط الكاميرات التلفزيونية بسيارات النقل التلفزيوني وفي الدوائر المغلقة ثم استخدمت في إيصال الخدمات التلفزيونية للمنازل وقد استخدمت لنقل قناة واحدة فقط وتستخدم الآن لنقل عشرات القنوات التلفزيونية والفيديو ضمن الكابل التلفزيوني (Cable television) وتراهن إحدى الشركات الأمريكية على انفاق 116 بليون دولار لتركيب خطوط كابلات تلفزيونية تصل للمنازل مما يعطي المشتركين نطاقا واسعاً للتطبيقات المختلفة ولايقتصر استخدامها على النقل التلفزيوني فحسب بل يستخدم للدوائر المغلقة والأنظمة الأمنية والنقل التلفزيوني عالي الوضوح.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

3.3: كيف تصنع الالياف البصرية

الشكل 1.3 يوضح أحدى طرق صنع اليف الزجاجى.



كما سبق و ذكرنا تصنع الألياف الضوئية من زجاج على درجة عالية من النقاء حيث وصفت إحدى الشركات ذلك بان قالت لو كان هناك محيط من الألياف الضوئية يصل للعديد من الأميال و نظرت من على سطحه للقاع يجب أن تراه بوضوح. وتتم صناعة الألياف الضوئية على النحو التالي:

i عمل اسطوانة زجاجية غير مشكلة

ii سحب الألياف الضوئية من هذه الاسطوانة الزجاجية

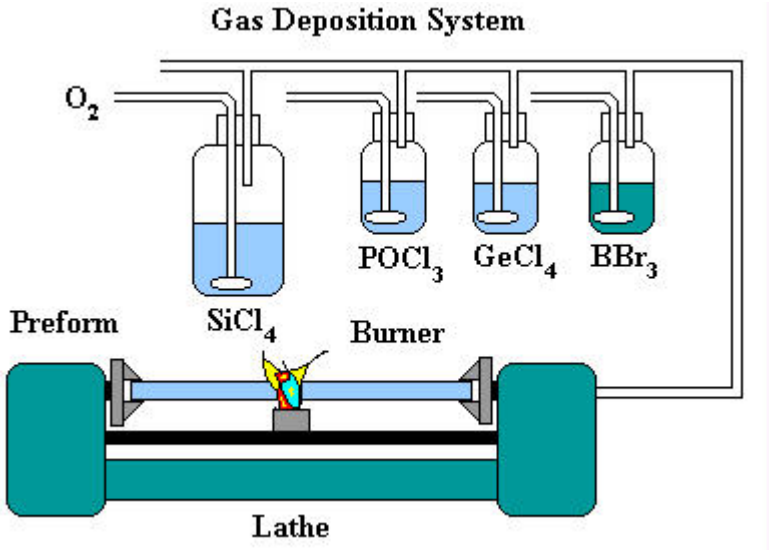
iii اختبار الألياف الضوئية

الزجاج المستخدم في عمل الاسطوانة الغير مشكلة يصنع من خلال عملية تسمى (modified chemical vapour deposition) حيث يمرر الأكسجين على محلول من كلوريد السليكون و كلوريد الجرمانيوم كيماويات أخرى ثم تمرر الأبخرة المتصاعدة داخل أنبوب من الكوارتز موضوع في مخرطة خاصة

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

- ✓ تفاعل السليكون و الجرمانيوم مع الأكسجين لتكوين أكسيد السليكون و أكسيد الجرمانيوم
- ✓ ترسب أكسيد السليكون و أكسيد الجرمانيوم على جدار الأنبوب من الداخل و يندمجان معا لتكوين الزجاج الخام المطلوب حيث يمكن التحكم بدرجة نقاء و صفات الزجاج المتكون من خلال التحكم بالخليط .

الشكل 2.3 يوضح طريقة صنع اليف البصري



الآن يتم سحب الألياف من هذه اسطوانة الخام الغير مشكلة بوضعها في أداة السحب حيث ينزل الزجاج الخام في فرن كربوني درجة حرارته 1,900-2,200 درجة سليزية فتبدأ المقدمة في الذوبان حتى ينزل الذائب بتأثير الجاذبية و بمجرد سقوطه يبرد مكونا الجديلة الضوئية. هذه الجديلة تعالج بتغليف متتابع أثناء سحبها بواسطة جرار مع قياس مستمر لنصف القطر باستخدام مايكرومتر ليزري. تسحب الألياف من القالب الخام بمعدل 20m/s.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

يتم بعد ذلك اختبار الألياف من ناحية: معامل الانكسار، الشكل الهندسي و خصوصا نصف القطر، تحملها للشد، تشتت الإشارات الضوئية خلالها، سعة حمل المعلومات، تحملها لدرجات الحرارة و إمكانية توصيل الضوء تحت الماء.

4.3: الضوء و البصريات الهندسية للألياف البصرية.

Light and geometric optics optical fibres.

تعتبر الألياف البصرية المكون الاساسي لأنظمة الاتصالات البصرية . حيث يستخدم الضوء كناقل للمعلومات (Carrier) يمكننا اعتبار الضوء كإشعاع كهرومغناطيسي Electromagnetic radiation

ولتوضيح وفهم آلية عمل الضوء هناك ثلاثة مداخل و اعتبارات لتفسير ذلك :

اعتبار أن الضوء موجة كهرومغناطيسية و ذلك باستخدام نظريه الأمواج (Waves Theory)

اعتبار إن الضوء كخط أو شعاع وذلك باستخدام علم البصريات (Geometric Optics)

اعتبار أن الضوء كحزمة من الفوتونات وذلك باستخدام نظرية الكم (Quantum Theory)

وحتى نفهم مبدأ و آلية عمل الليف البصري ، سوف نستخدم الأعتبار الثاني و نقوم بدراسة الضوء كشعاع يتحرك باتجاه و زاوية معينة و بذلك سينطبق عليه القوانين الأساسية في علم البصريات الضوئية قوانين سنل ، الانكسار.....الخ).

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

1.4.3: نظرية الشعاع الضوئي - Ray Theory Transmission .

كما هو معلوم ، فإن الضوء ينتشر كشعاع باتجاه وسرعة معينة تعتمد قيمتها على نوع الوسط الذي يتم فيه الانتشار ، بمعني أخر فان كل وسط يعيق انتشار الضوء خلاله بنسب متفاوتة مما يعنى أن سرعة انتشار الضوء عبر أى وسط أقل منها فى الفراغ . إن هذه الخاصية للمواد و الوسائط المختلفة تسمى معامل الانكسار للمادة أو الوسط المعنى ويرمز له (n). يمكننا حساب معامل الانكسار لمادة معينة باستخدام العلاقة البسيطة التالي

$$n = C_o / C_n$$

حيث إن C_n ترمز إلى سرعة انتشار الضوء عبر المادة المعينة C_o ترمز إلى سرعة انتشار الضوء في الفراغ (3×10^8 m/s) $C_O =$ يقدم الجدول 1.3 أمثلة لمعامل الانكسار لبعض المواد.

الجدول 1.3: معامل انكسار بعض المواد.

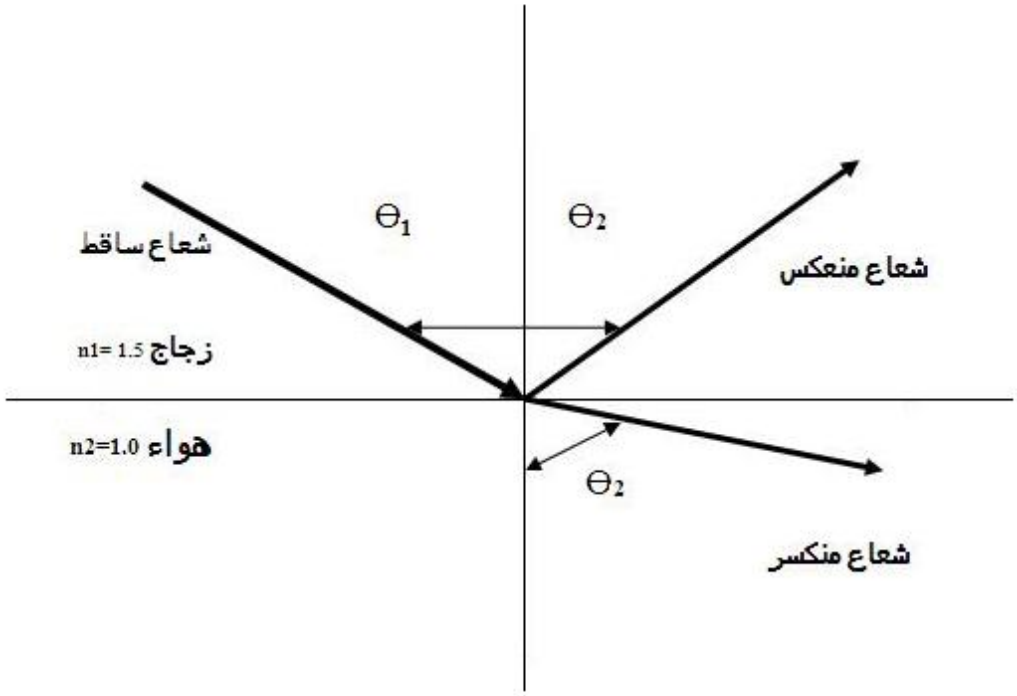
المادة	معامل الانكسار
هواء	1
ماء	1.33
زجاج	1.5
سيلكون	3.5
جرمانيوم	4
كحول	1.36
بوليسترين	1.59

2.4.3: قانون سنل - Snell's Law .

يعتبر قانون سنل من القوانين الأساسية في علم البصريات و الذي يعطي العلاقة ما بين الشعاع الساقط و الشعاع المنكسر و الزوايا المصاحبة لذلك . يوضح الشكل (3.3) أدناه فكرة قانون سنل.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

يوضح الشكل 3.3 الشعاع الساقط ، الشعاع المنعكس ، و المنكسر



يمكننا كتابة قانون سنل على النحو التالى

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

حيث إن n_1 ترمز إلى معامل الانكسار للزجاج و n_2 ترمز إلى معامل الانكسار للهواء سنعيد كتابة قانون سنل كما هو موضح بالشكل السابق :

$$\frac{\sin\theta 1}{\sin\theta 2} = \frac{n2}{n1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

عندما تكون $n_1 > n_2$ فأن . $(\theta 1 < \theta_2)$.

5.3: مراحل انتقال الضوء عبر اليف البصري.

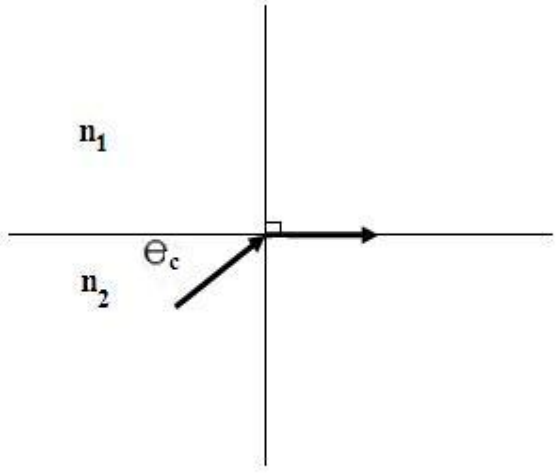
فيما يلي شرح لمراحل انتقال الضوء عبر الليف البصري ومن خلال زوايا انتقال محددة.

1.5.3: الزاوية الحرجة (Critical Angle) :

يتحدد مفهوم الزاوية الحرجة على النحو التالى: هي عبارة عن الحالة الخاصة لقيمة زاوية سقوط الشعاع عندما تكون زاوية الانكسار له تساوي 90° الشكل

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

الشكل 4.3 حالة الزاوية الحرجة للسقوط.



بالرجوع إلى قانون سنل ، يمكننا الحصول على العلاقة التالية لحساب الزاوية الحرجة $\boldsymbol{\theta_c}$

$$n_1 .\sin\theta_1 = n_2.\sin\theta_2$$

$$n_1 .\sin\theta_1 = n_2.\sin 90$$

$$n_1.\sin\theta_c = n_2$$

$$\mathrm{Sin}\theta_c = \boldsymbol{n_2/n_1}$$

$$\theta_c = \sin^{-1}\boldsymbol{(n_2/n_1)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

لأن جيب أي زاوية لا يمكن أن يكون اكبر من 1 فان $\frac{n2}{n1}$ دائما اصغر أو تساوي 1 وبتالي فإن : n_2 يجب ان تكون اصغر من n_1.

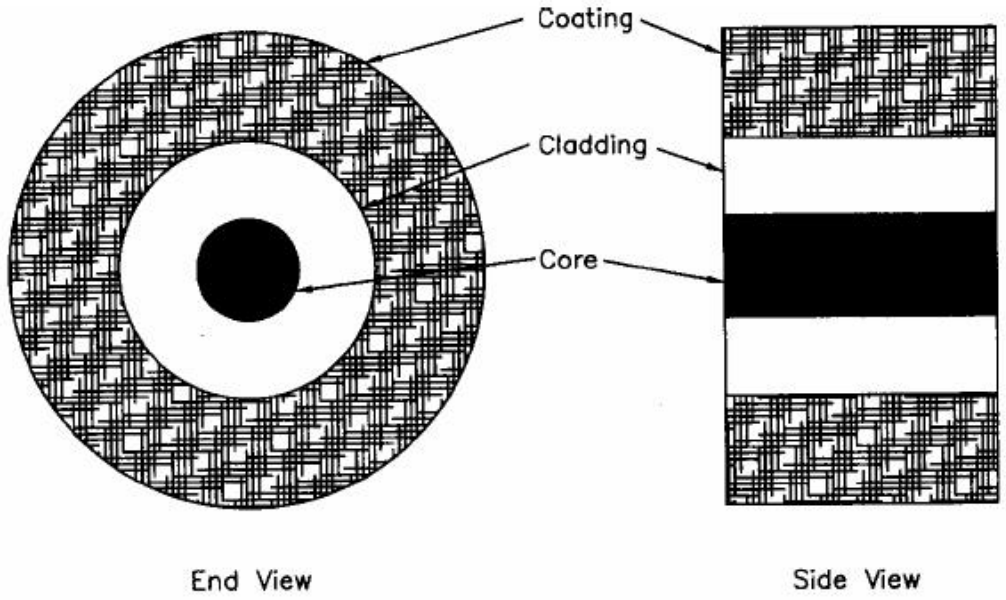
2.5.3: الانعكاس الكلي الداخلي - Total Internal Reflection.

كما يتضح لنا من قانون سنل ، فإنه كلما تغيرت زاوية السقوط كلما رافقها تغير في زاوية الانكسار . فى كون زاوية السقوط اكبرمن الزاوية الحرجة ($\theta 2 > \theta 1$) فان الضوء ينعكس بالكامل (لا يحدث انكسار) ، حيث تسمى هذه الظاهرة الانكسار الكلى الداخلى . يجب التأكيد هنا على الشرط التالي : حيث أن

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

www.manaraa.com

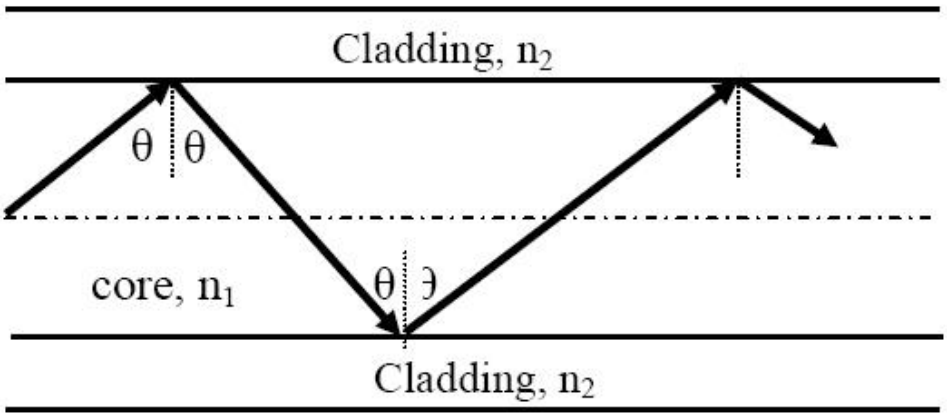
الشكل 5.3 يوضح المقطع العرضي والجانبي لليف البصري



لتوضيح عملية انتشار الضوء عبر الليف البصرى يمثل الشكل (3.5.3) أنتقال الشعاع الضوئى بزاوية سقوط θ حيث يكون الانتشار خلال لب الليف بالكامل وذلك طبقاً لمبدأ الانعكاس الكلى الداخلى .

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

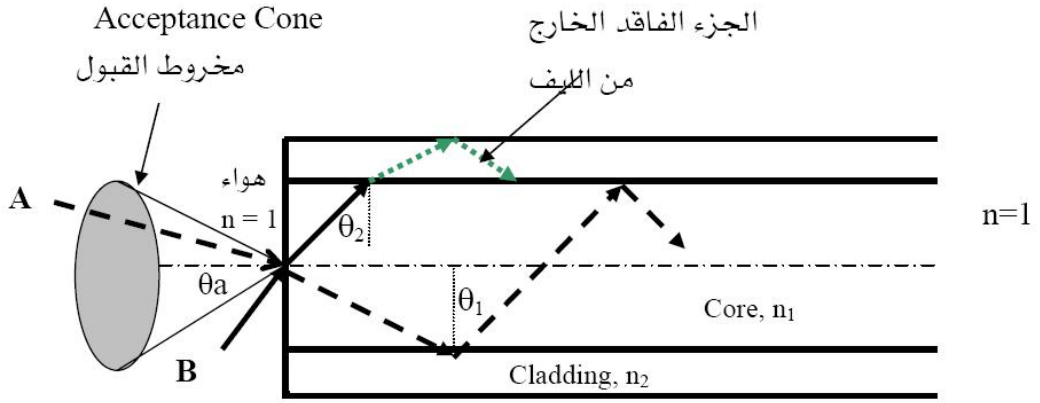
الشكل 6.3 انتشار الشعاع الضوئي عبر اليف البصري.



3.5.3: زاوية القبول (Acceptance Angle).

تعتبر زاوية القبول (θa) من القيم العددية التى يتوجب معرفتها عن الليف البصرى و حتى يتضح المعنى المقصود بها نستعين بها بالشكل الموضح أدناه الشكل 7.3 .

الشكل 7.3 يوضح زاوية زاوية القبول عند ادخال الضوء الي اليف البصري.



www.manaraa.com

كما يتضح من الشكل فان الشعاع A يدخل إلى الليف بزاوية أقل من الزاوية (θ_a) ويصل إلى الحد الفاصل بين اللب و المحيط بزاوية θ_c وبذلك يتتبع مساره عبر الليف بشكل صحيح (يحقق الانعكاس الكلي الداخلى) ويكون الفقد في هذه الحالة أقل ما يمكن يدخل الشعاع B إلى الليف البصرى بزاوية أكبر من زاوية القبول (θ_a) حيث يصل إلى الحد الفاصل بين اللب و المحيط بزاوية أقل من θ_c وبذلك فان جزءا منه ينكسر باتجاه المحيط و يخرج خارج الليف مما يتسبب فى فقد جزء من الضوء المنتشير وبذلك لا يمكن له ان يحقق الانعكاس الكلى الداخلي . من هنا يتضح معنى و مفهوم زاوية القبول بأنها الزاوية التي يجب على الشعاع الداخل إن يدخل بزاوية تساويها أو أقل منها حتى يتحقق الانعكاس الكلي وبتالي ينتشير عبر الليف بشكل صحيح وباقل فقد ممكن ، و في نفس الوقت ، فان الشعاع الداخل لليف بزاوية اكبر من زاوية القبول فان جزءا منه ينكسر عبر محيط الليف وبالتالى سوف يفقد وما تبقى منه ينعكس داخل الليف وهنا نحصل على انعكاس جزئي و ليس كلياً . لذالك حتى يتم إرسال الضوء لأطول مسافة ممكنه يجب مراعاة إدخال الضوء لليف بزاوية لا يتجاوز قيمة θ_a.

4.5.3: فتحة النفود العددية - Numerical Aperture .

هناك قيمة عددية أكثر شمولاً من زاوية القبول(θ_a) والتى تمثل أو تعبر عن العلاقة ما بين إدخال الضوء لليف بشكل صحيح ومعامل الانكسار لكل من لب الليف n_1 ومحيطه n_2 تسمى هذه القيمة أو العلاقة فتحة النفود العددية (N_A) والتى يمكن إيجادها من العلاقة التالية :

$$N_A = n_0 . \sin\theta_a = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad \ldots\ldots (4)$$

حيث ان n_0 ترمز إلى معامل الانكسار للوسط الفاصل (عادةً ما يكون الهواء $n_0=1$) بين المصدر الضوئي و مقدمة الليف منها :

$$\theta_a = \sin^{-1} N_A \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

يمكننا أيضاًالتعبير عن (N_A) بدلالة الفرق النسبي Δ بين n_1 و n_2

$$N_A \approx n_1\sqrt{2\Delta} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

حيث أن Δ تحسب وفق العلاقة التالية :

$$\Delta = (n_1 - n_2) / 2\, n_1^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (7)$$

للتذكير فان :

(θ_a) تأخذ قيم بين الصفر و 90

(N_A) بين الصفر و الواحد

Δ تكون عادة أقل بكثير من الواحد $(\Delta < 1)$

فى الواقع العملي عادة ما تستخدم العدسات بين المصدر الضوئي و مقدمة الليف للمساعدة في تجميع الضوء و تركيزه بحيث يسهل إدخاله إلي الليف ، و بنفس الطريقة تستخدم العدسات لإيصال الضوء من مخرج الليف إلي الكاشف الضوئي .

6.3: أنماط الانتشار في الليف البصري (Fiber Modes) .

ينتشر الضوء عبر الليف البصرى على شكل عدد محدود من الحزم الضوئية (Beams) أو إشعاعات (Rays) وبزوايا معينة ذات قيم محددة . تسمى هذه الإشعاعات أو الحزم الضوئية المختلفة بأنماط الانتشار (Propagation Modes) ، حيث يرتبط كل شعاع بنمط انتشار معين . لذلك تستخدم الارقام الجانبية بجانب اسم النمط (Modes Index) لتميزها عن بعضها البعض . حتى نتمكن من الحصول على هذه الأنماط المنتشيرة في هذه الألياف البصرية يجب استخدام النظرية الكهرومغناطيسية وتطبيق معادلات ماكسويل على حالة الليف البصري و إيجاد الحلول لها ، حيث يتطلب ذلك مستوى عالٍ من الرياضيات و نظرية الكهرومغناطيسية لذلك سنتعرف و بشكل مبسط وسريع على الأنواع الاساسية للأنماط المنتشيرة عبر الليف البصري و هي :

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

- ✓ أنماط كهربية عرضية (Transverse Electric Modes) ويرمز لها .TE – modes
- ✓ أنماط مغناطيسية عرضية (Transverse Magnetic Modes) ويرمزلها TE – mode .
- ✓ أنماط هجينة (Hybrid) تحتوى المجالين الكهربائي و المغناطيسى من نوع HE .
- ✓ أنماط هجينة (Hybrid) تحتوى المجالين الكهربائى و المغناطيسى من نوع EH .

و كمثال على طريقة تسمية أنماط الأنتشار : HE11, EH12 , TE01 , ... TM02

عند الحديث عن انماط الأنتشار يجب التعرف على قيمة عددية لليف البصري تسمى التردد المقياس (Normalized Frequency) أو القيمة العددية (V- number)V لليف البصرى و التى يمكننا حسابها حسب العلاقة التالية :

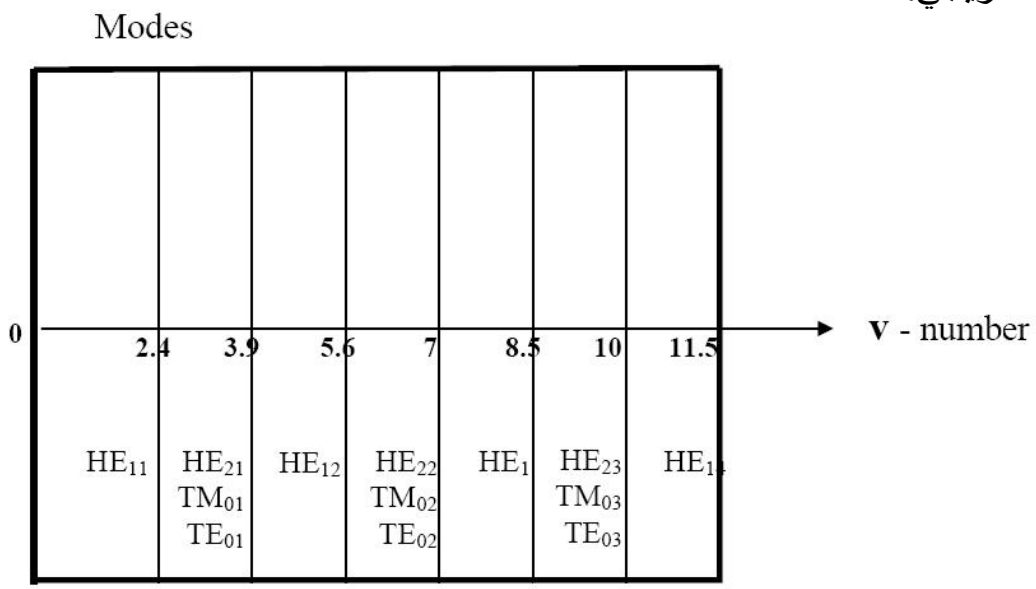
$$V=\frac{2\pi}{\lambda}aNA \quad \text{..... (8)}$$

$$\approx\frac{2\pi}{\lambda}an_2\sqrt{2\Delta} \quad \text{..... (9)}$$

حيث ترمز λ إلى الطول الموجى و a إلى نصف قطر لب الليف . بالاعتماد على قيمة V يمكننا من الشكل (7.3) تحديد عدد و أنواع أنماط الانتشار و التى سوف تتواجد و تنتشير عبر الليف البصري .

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

الشكل 8.3 يوضح انماط الانتشار بالاعتماد علي قيمة V لليف البصري التدريجي.



www.manaraa.com

الفصل الرابع

أنواع الألياف البصرية ومسار الضوء فيها.

1.4: أنواع الألياف البصرية - Optical Fiber Types .

2.4: تقسيم الألياف البصرية حسب المادة المصنوع منها.

3.4: المصادر و الكواشف الضوئية

4.4: أطوال الموجات العاملة - Operating Wavelengths

5.4: القياسات والفحوصات في أنظمة الاتصالات البصرية

6.4: تركيبات الالياف البصرية - Fiber Optic Installation .

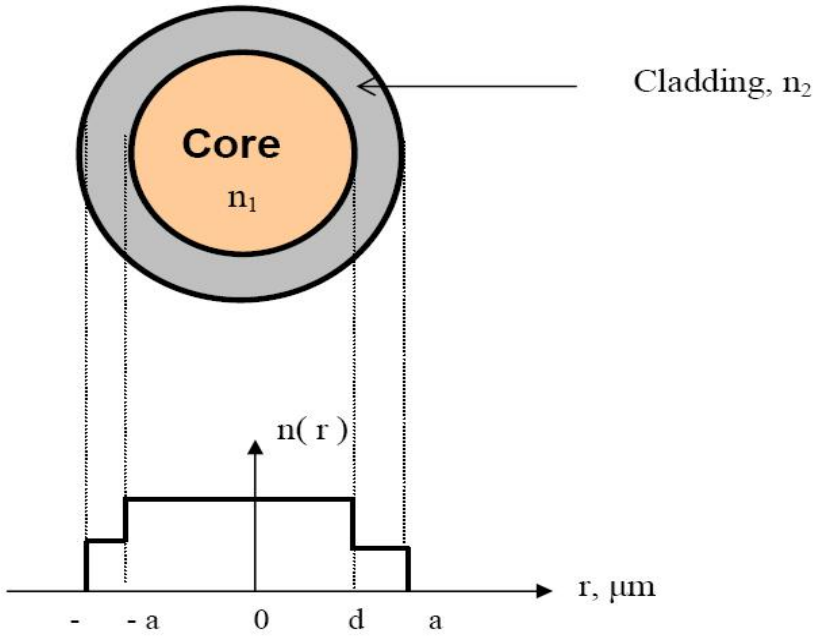
المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

1.4: أنواع الألياف البصرية - Optical Fiber Types .

تنقسم الألياف البصرية إلى أكثر من نوع وذلك بالأعتماد على المعيار المستخدم لعملية التقسيم ، فحسب تغير معامل الانكسار خلال لب الليف البصرى تقسم الألياف البصرية كالآتي:-

1.1.4: ألياف عتبية (Step-Index Fibers) حيث يكون معامل الانكسار ذا قيمة ثابتة خلال لب الليف. لقد بدأ ظهور الألياف البصرية بهذا النوع تحديداً وذلك لسهولة التصميم و التصنيع ، حيث يتم تصنيع لب الليف من الزجاج نقى له معامل انكسار ثابت (n_1) بينما يصنع المحيط من الزجاج أيضاً بمعامل انكسار ثابت و لكن ذو قيمة أقل (n_2) كما هو مبين على الرسم أدناه و الذى يمثل كيفية تغير معامل الانكسار لليف البصرى n(r) بالأعتماد على المسافة القطرية من مركزا لليف (r) يمثل الرمز d نصف قطر المحيط و الرمز a نصف قطر اللب كما أشرنا سابقاً حيث تعطى هذه القيم بوحدة الميكرومتر [μm] .

الشكل 1.4 يوضح تغيرمعامل الانكسار في الليف العتبي



تغيّر معامل الانكسار في الليف العتبي

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

إذا ما نظرنا إلى الشكل أعلاه فإننا نجد أن تغير معامل الانكسار من القيمة n_2 إلى n_1 أو العكس له شكل الدرجة أو العتبة و من هنا جاءت التسمية " الليف العتبى " . يمكننا حساب عدد الأنماط المنتشير (M_s) خلال الليف العتبى بالعلاقة التالية :-

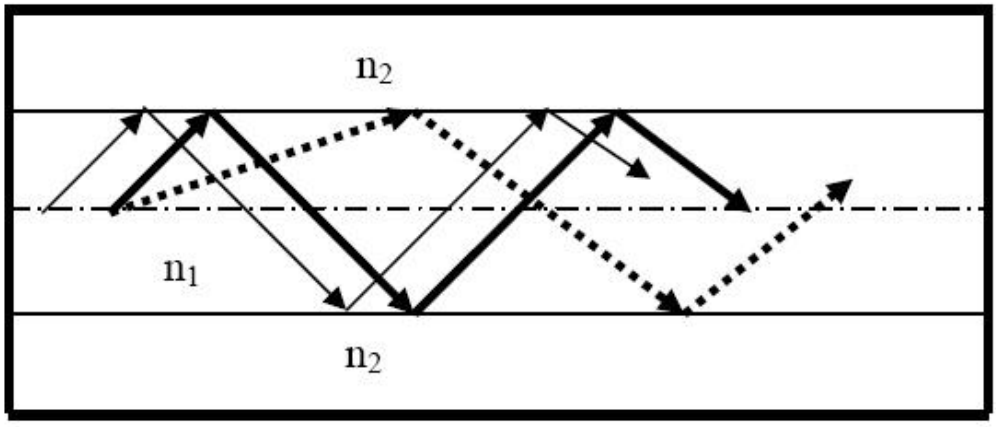
$$M_s = \frac{V2}{2} \quad \text{.....(10)}$$

تكون سرعة انتشار جميع الأنماط ثابتة و تساوى

$$v = \frac{c}{n} \quad \text{..... (11)}$$

حيث ترمز n إلى معامل الانكسار للوسط الذى يتم فيه الانتشار (هنا لب الليف تحديداً ($n = n_1$ إن سبب ثبات السرعة يعود إلى أن معامل الانكسار للب الليف ذو قيمة ثابتة وبتالي فان العلاقة (11) لا تتغير هندسياً ، تنتشير الحزم الضوئية أو الأشعة ضمن منطقة لب الليف البصرى و تكون مساراتها على شكل خطوط مستقيمة الشكل (2.4) يوضح أن الضوء يسير بخطوط مستقيمة خلال الوسط المتجانس (ذو معامل انكسار ثابت) و هذه الحالة في الألياف العتبية .

الشكل 2.4 يوضح مسارات الحزم الضوئية خلال اليف العتبي.



تتميز الألياف العتبية ببساطتها و بتالى تدنى سعرها و لكنها متواضعة في الخصائص و المميزات وتكمن مشكلتها الرئيسية في التشتيت الباطني

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

2.1.4: ألياف تدريجية (Graded-Index Fibers) حيث يتغير معامل الانكسار بشكل تدريجى ضمن منطقة لب اللب . كذلك و حسب عدد الأنماط المنتشير خلال الليف البصري تنقسم :-

- ✓ ألياف متعدد الأنماط Multimode Fibers حيث ينتشير أكثر من نمط (قد يصل إلى المئات)

إن ما يميز الألياف البصرية ذات معامل الأنكسار التدريجى هو أن معامل الانكسار للب البصرى لا يكون ذا قيمة ثابتة و إنما يتغير بشكل تدريجى بدءاً من مركز اللب (أقصى قيمة $n = n_1$) ولغاية الحد الفاصل بين اللب و المحيط (أدنى قيمة $n = n_2$) ، حيث يأخذ هذا التغير التدريجى أشكالاً مختلفة : ألمثلي Triangular و القطع المكافىء Parabolic أو أية أشكال أخرى تقع فيما بينهما ويبقى معامل الانكسار ثابتاً لمحيط الليف (n_2) . يتضح مما سبق أن معامل الانكسار لمنطقة لب الليف ذو قية متغيرة و يأخذ شكل دالة رياضية معينة $n(r)$ و هى التى تحدد الأشكال سالفة الذكر . يمكننا التعبير رياضياً عن $n(r)$ على الشكل التالى :

$$n(r) = \begin{cases} n_1 (1 - 2\Delta) \sqrt{(r/a)^{\alpha}} & r < a \\ n_1 \sqrt{(1 - 2\Delta)} = n_2 & r \geq a \end{cases} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots(12)$$

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

حيث إن a تمثل الدالة و الذى يحدد الشكل العام (المثلثى ، أو القطع المكافىء ، أو ...) فعندما :

a=1 نحصل على الشكل المثلثى

a=2 نحصل على الشكل القطع المكافىء

a=∞ نحصل على شكل الليف العتبى ، (أنظر إلى الشكل التالى)

حيث يمكن أن تأخذ a أى قيمة حقيقية أكبرمن واحد ، لكن و من ناحية عملية وبعد اجراء العديد من التجارب ، فقد وجد أن أفضل القيم هى a = 1.98 يسمة الشكل الناتج فى هذه الحالة شبه القطع المكافىء Near Parabolic Profile

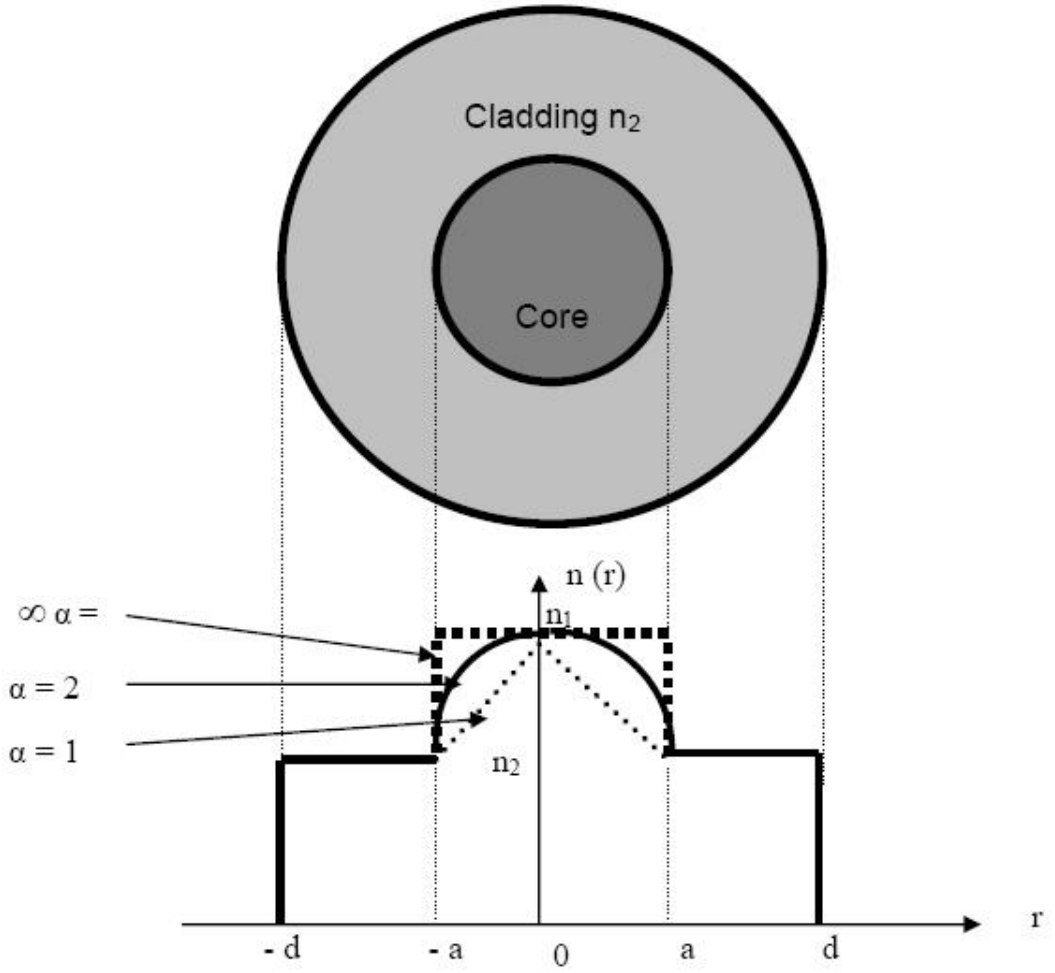
يمكننا حساب عدد الأنماط المنتشيرة M_g خلال الليف التدريجى بالعلاقة التالية:-

$$Mg = (\alpha / \alpha + 2) (V^2 / 2) \quad \text{.....(13)}$$

حيث يعتمد عدد الأنماط المنتشرة علي معامل الدالة **a** .

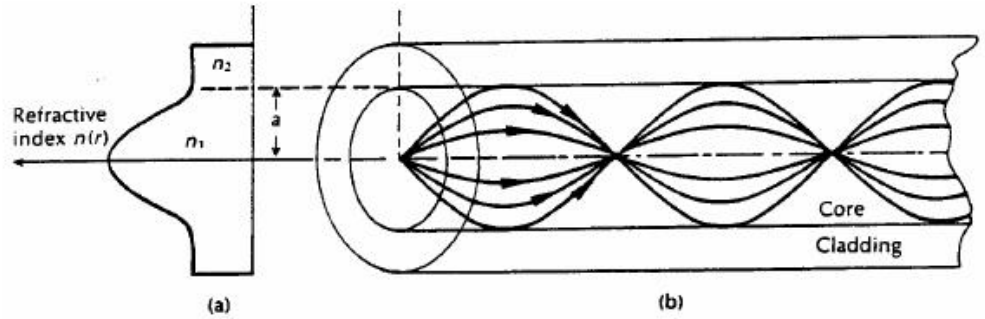
المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

الشكل 3.4 يوضح تغير معامل الانكسار في اليف التدريجي.



هندسياً تنتشير الحزم الضوئية او الاشعة ضمن منطقة لب الليف البصرى و تكون مسارتها على شكل خطوط منحنية و ليست مستقيمة (الشكل 4.1.4) و السبب فى ذلك أن معامل الانكسار لمنطقة الانتشار (لب الليف) ذو قيمة متغيرة ، و بتالى بالرجوع للعلاقة (11) فان حاصل القسمة و الذى يمثل السرعة ليس ثابتاً حيث تكون السرعة أكبر ما يمكن عندما تكون n أصغر ما يمكن (منطقة اطراف اللب) و السرعة أقل ما يمكن عندما تكون n اكبر ما يمكن (منطقة مركز اللب) . إن هذا الاختلاف فى السرعة هو السبب الرئسى الذى يعطى الألياف البصرية ذاث معامل الانكسار التدريجى الميزة الأيجابية الهامة مقارنة مع الألياف العتبية و التى سنوضحها أدناه .

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com



كما ذكرنا سابقاً فان الحزم القريبة من مركز اللب تكون بطيئة بعض السرعة و لكنها تقطع مسافة قصيرة بينما الحزم الأبعد عن المركز اللب و الأقرب للحد مع محيط الليف ذات سرعة عالية و لكنها تقطع مسافة قصيرة ، بينما الحزم الأبعد عن المركز اللب والأقرب للحد مع محيط الليف ذات سرعة عالية و لكنها تقطع مسافة أطول (أنظر الشكل 4.4) ، وبتالى فان جميع الحزم تصل في أوقات زمنية متقاربة جداً مما يقلل التأخير فيما بينها وهذا هو السبب في أن التشتيت فى هذه الألياف قليل جداً (حوالى 100مرة أقل منه فى حالة الألياف العتبية) . و فى الخلاصة ، نؤكد على أن الألياف البصرية ذات معامل الانكسار التدريجى أفضل بكثير من مثيلاتها ذات معامل الانكسار العتبى مما جعلها تستخدم في التطبيقات التى تتطلب سرعات عالية و مسافات إرسال بعيدة مع العلم أن سعرها أعلى .

3.1.4: الياف أحادية النمط (single Mode Fibers) حيث ينتشير نمط واحد فقط HE11.

فى حالة الليف أحادي النمط ، هناك نمط واحد من الانتشار (Single Mode) و هو HE11 إدا ما نظرنا إلى (الجدول السابق أنماط الانتشار) نجد بأنه أول نمط يبدأ بالظهور و الانتشار عبر الليف البصرى و بالتالى يسمى النمط

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

الاساسى (Fundamental Mode) أو الاول . فى نفس الوقت ، فان النمط الأحادي ينتشير عبر الليف بحالتين من الأستقطاب : الحالة الأفقية و يرمز لها X و أخرى عمودية ويرمزلها Y . لكن وبالرجوع لنفس الجدول فلا يمكن الحصول على هذه الحالة (انتشار نمط واحد فقط) إلا إذا كانت قيمة V صغيرة للغاية (أقل من 2.405) . عادة ماتسمى القيمة الحدية ($V = 2.405$) و التى تضمن ظهو نمط واحد فقط بقيمة القطع (Cutoff V- Number) وسوف نرمز لها . Vc إن الميزة الرئسية لليف أحادى النمط هو عدم وجود التشبيك الباطنى وذلك لوجود نمط واحد فقط وبتالى لا يوجد أى تاخير أو فورقات زمنية بين الأنماط و التى هى السبب المباشرة لظهور التشبيك ، لذلك فان الألياف أحادية النمط هى الأفضل على الإطلاق من حيث الخصائص و الموصفات العملية على الرغم من صعوبة تصنيعها و ارتفاع تكاليفها. للحصول على الليف أحادى النمط من النوع العتبى يجب أن يتحقق الشرط التالى :

$$0 \leq V \leq 2.405 \quad \text{.....} \quad (14)$$

يمكننا تحقيق الشرط بطرقتين :

الأول عن طريق تصغير قطر لب الليف (a) . الثانية عن طريق الفرق النسبى لمعامل الانكسار (Δ) فى حالة الليف أحادى النمط من النوع التدريجى تحسب Vc بالعلاقة التالية :

$$V_c = 2.405\ \sqrt{1 + 2/\alpha} \quad \text{.....} \quad (15)$$

إن أهم ما نحتاجه هنا كيفية إيجاد نصف القطر لب الليف (a) حتى يصبح يعمل كأحادي النمط بالرجوع إلى العلاقة (1- 10)

$$V = 2\pi/\lambda \bullet a n_1 \sqrt{2\Delta} \quad \text{.....} \quad (16)$$

وبتعويض ($V = Vc = 2.405$) يمكننا إيجاد نصف القطر لليف العتبى على الشكل التالى :

$$a = 2.405\ \lambda / 2\pi n_1 \sqrt{2\Delta} \quad \text{.....} \quad (17)$$

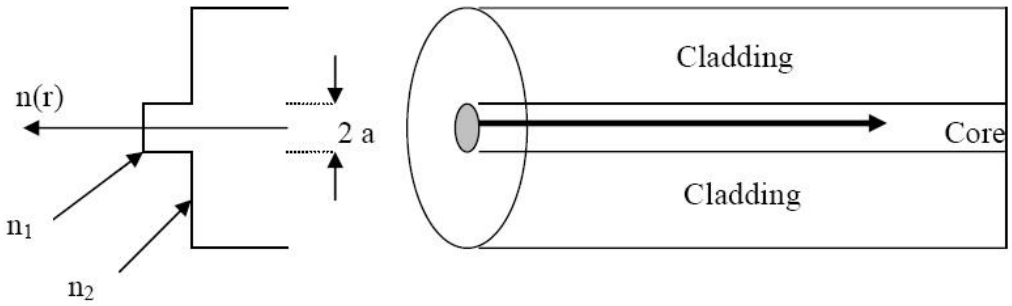
المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

أما فى حالة ذى الليف ذى معامل الانكسار التدريجى فيجب تعويض قيمة Vc من العلاقة

$$a= (2.405\sqrt{1+2/\alpha}) \bullet \lambda / 2\pi n_1 \sqrt{2\Delta} \qquad (18)$$

يبين الشكل كيفية تغير معامل الانكسار لليف أحادي النمط من النوع العتبيى و انتشار الشعاع الجديد داخل الليف .

الشكل 5.4 يوضح معامل الانكسار لليف احادي النمط من النوع العتبي.



طول الموجة القاطع Cutoff Wavelength

بالرجوع إلى العلاقة, فان الليف البصرى لا يمكن أن يعمل كأحادى النمط ألا إذا كان الطول الموجى الذى يعمل عليه أعلى من قيمة معينة تسمى طول الموجة القاطع (Cutoff Wavelength) و التى سنرمز لها λ_c وتعرف على الشكل التالي :-

$$\lambda_c = 2\pi a n_1/V_c \bullet \sqrt{2\Delta} \qquad (19)$$

يمكننا تبسيط هذه العلاقة فى الحالتين التاليتين :

حالة الليف أحادي النمط العتبي :

$$\lambda_c = V \lambda / 2.405 \qquad (20)$$

فى حالة اليف أحادي النمط التدريجى .

$$\lambda_c = V \lambda / 2.405 \bullet\sqrt{1+2/\alpha} \qquad (21)$$

و فى النهاية ، فحتى يعمل الليف البصرى الأحادى النمط يجب أن يكون الطول الذى يعمل عليه أعلى من الطول الموجى القاطع λ_c .

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

2.4: تقسيم الألياف البصرية حسب المادة المصنوع منها.

- ✓ الألياف البلاستيكية (Plastic Optical Fibers) و تصنع بالكامل من البلاستيك .
- ✓ الألياف الزجاجية (Glass Optical Fibers) و تصنع من الزجاج النقى .

أيضاً يمكننا إيجاد ألياف بصرية يكون اللب فيها مصنوعاً من الزجاج بينما المحيط من البلاستيك.

1.2.4: الليف البلاستيكى (Plastic Optical Fiber) .

تتميز الألياف البصرية البلاستيكية و التى سترمز لها اختصاراً (POF) بأنها مصنوعة بالكامل من البلاستيك مما يجعلها رخيصة جداً ، حيث تصنع الأن على شكل ألياف عتبية متعددة الأنماط و تعمل على الطول الموجى 650nm . إن أهم الميزات الإيجابية لليف البلاستيكى هي :-

- ✓ السعر المتدنى .
- ✓ الحجم الكبير نسبياً (بقطر 1000 µm) مما يجعلها سهلة فى الاستخدام.
- ✓ فتحة النفود العددية (NA) عالية (حوالى 0.5).
- ✓ البساطة و المرونة العالية فى التطبيق.

فى نفس الوقت يجب الإشارة إلى السلبيات التالية :-

- ✓ التوهين (Attenuation) العالى جداً (أكثر من 200 Db/Km) .
- ✓ عرض النطاق الترددى (Bandwidth) القليل (حوالى 5 MHz).
- ✓ يقتصر استخدام الألياف البلاستيكية على المسافات القصيرة جداً (داخل المكاتب و المعامل) كذلك أصبحت تستخدم كبديل للكيبلات الكهربية فى السيارات .

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

3.4: المصادر و الكواشف الضوئية.

.Light Sources and Optical Photometers

نقدم فى هذه الفقرة مبدأ عمل و أنواع المصادر و الكواشف المستخدمة في أنظمة الأتصالات الضوئية و التعرف على خصائصها و موصفاتها العملية.

1.3.4: المصادر الضوئية (Light Sources).

تتمثل الوظيفة الأساسية للمصدر الضوئى في تحويل الاشارات الكهربائية الداخلة عليه إلى إشارات بصرية على ترددات الضوء حيث يتم إرسالها عبر الليف إلى جهة الأستقبال. إن المعلومات المراد إرسالها سواء فى الأنظمة الثماثلية أو الرقمية عادة ماتكون ذات طبيعة كهربية لذلك وحتى نتمكن من إرسالها عبر الليف البصرى لابد من تحويلها إلى إشارات ضوئية وبعد وصولها إلى جهاز الأستقبال يتم تحويلها و إرجاعها إلى طبيعتها الكهربائية.

2.3.4: متطلبات عامة للمصدر الضوئى (Source Requirements) .

هناك عدد من الشروط و المتطلبات الواجب مراعاتها و توفرها في المصدر الضوئي عند اختياره لتطبيق معين في أنظمة الاتصالات الضوئية:-

- ✓ أن يكون الطول الموجي المنبعث من المصدر (الذي يعمل عليه) ملائماً للإرسال عبر الألياف البصرية .
- ✓ يجب أن تكون القدرة المنبثة من المصدر عالية بالقدر الكافي (في مجال mw) لاستخدامها ا في الاتصالات بعيدة المدى .
- ✓ يجب أن يكون عرض النطاق الإشعاعي (σ_λ) أقل ما يمكن وذلك لتقليل قيمة تشتيت المادة .
- ✓ يجب أن تكون المساحة الإشعاعية (Source Emitting Area) للضوء الخارج من المصدر أقل من مساحة لب الليف (Fiber Core Area) ، وذلك لتحسين توصيل الضوء إلى الليف .

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

- ✓ الإستقرارية في قيمة القدرة المنبعثة ، و الطول الموجي ، و عرض النطاق الإشعاعي و عدم تأثرها بدرجة الحرارة .
- ✓ يجب أن تكون هناك إمكانية لتعديل المعلومات (Modulation Ability) و نقلها عبر الليف .
- ✓ يجب أن تتمتع بسرعة تعديل (Modulation Rate) عالية لضمان إرسال أكبر قدر ممكن من المعلومات.
- ✓ يفضل أن تكون الدوائر الإلكترونية المصاحبة للمصدر من أجل تشغيله أبسط ما يمكن .
- ✓ قلة التكلفة .

4.4: أطوال الموجات العاملة (Operating Wavelengths).

كما أشرنا سابقاً ، يتوجب أن يكون الطول الموجي الذي يعمل عليه المصدر مطابقاً للاطوال الموجة التي يعمل عليها الليف بشكل فعال . يؤثر الطول الموجى وبشكل مباشر على قيمة التوهين و تشتيت النبضات المرسلة عبر الليف ، من هذه الناحية فإن أنظمة الاتصالات البصرية العاملة استخدمت وتستخدم الأطوال الموجية التالية :

- ✓ $\lambda = 850$ nm وهو أول طول موجي تم استخدامه ، حيث إن الاجهزة و الألياف التي تعمل على هذا الطول الموجي هي الأرخص والأبسط في التصميم.
- ✓ $\lambda = 1300$ n وهو أفضل طول موجي من ناحية أقل تشتيت يمكن الحصول عليه.
- ✓ $\lambda = 1550$ nm وهو أفضل طول موجي من ناحية أقل توهين يمكن الحصول عليه ، إلا أن الأجهزة و المعدات التي تعمل عليه هي الأغلى في التكلفة.
- ✓ $\lambda = 650$ nm وهو الطول الموجي الأفضل لعمل الألياف البلاستيكية

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

5.4: القياسات والفحوصات في أنظمة الاتصالات البصرية

Fiber-Optic Measurements and testing.

تعتبر القياسات والفحوصات من العمليات الأساسية و المهمة في نظم الاتصالات بشكل عام ، حيث تبدأ الفحوصات لليف البصري في مرحلة التصنيع للتأكد من جميع الشروط اللازمة لتصنيع الليف بشكل صحيح. هناك مجموعة من القياسات التي يجب إجراؤها لليف :-

- ✓ القياس باستخدام جهاز القدرة Power Meter Measurements
- ✓ قياس فقط خط الليف البصري

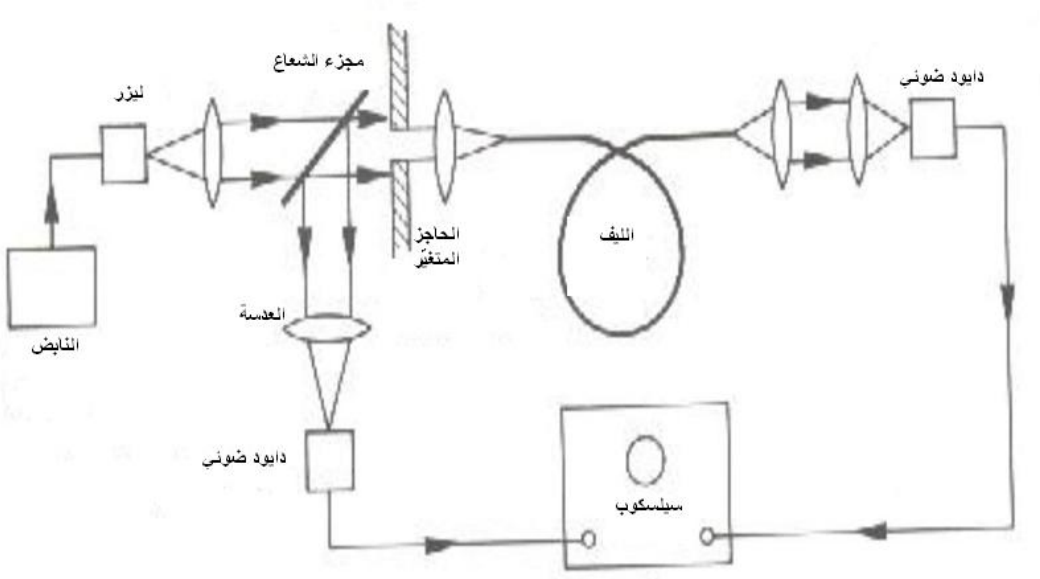
Fiber Optic Link Loss Measurement

- ✓ قياس فقط الانعكاس البصري

Optical Return Loss Measurement

- ✓ القياس باستخدام جهاز OTDR (OTDR Measurements)

الشكل 6.4 يوضح احدي طرق قياس انتشار النبضات الضوئية في الليف.



المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

6.4: تركيبات الالياف البصرية - Fiber Optic Installation .

إن المقصود بتركيبات الألياف البصرية هو عملية تجهيز الكيبل ووضعه في مكانه المخصص بحيث يكون جاهزاً للاستخدام وإرسال المعلومات من خلاله و هناك نوعان من التركيبات الخارجية (Outdoor) والداخلية (Indoor) :-

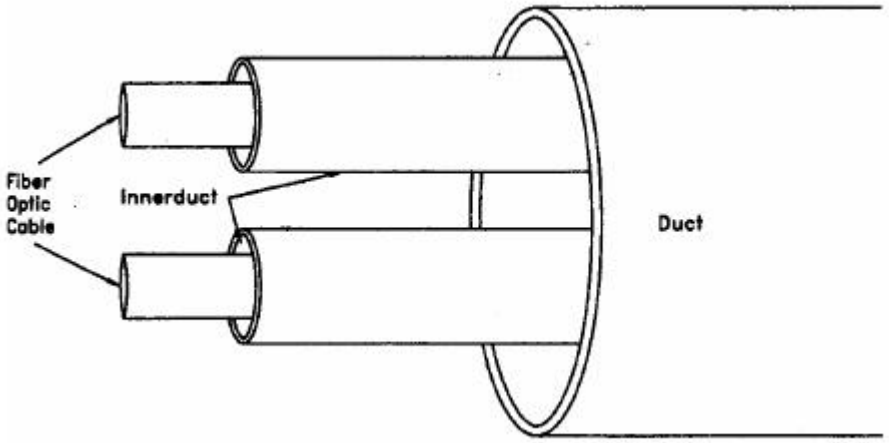
i التركيبات الخارجية للكيبل البصري Outdoor Fiber Optic Cable) (Installation

ii تركيبات الكيبل المدفون (Buried Cable Installation)

عند اختيار المجرى لوضع الكيبل داخله يجب مراعاة الشرط التالي :

$(d^2 / D^2) < 50$ حيث ترمز **d** إلى قطر الكيبل و **D** إلى قطر المجرى.

الشكل 7.4 يوضح المجرى الرئيس و المجاري الداخلية.



المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

الفصل الخامس

الجماهيرية وتقنية اللألياف البصرية.

1.5: مشاريع الألياف البصرية في ليبيا.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

1.5: مشاريع الألياف البصرية في ليبيا.

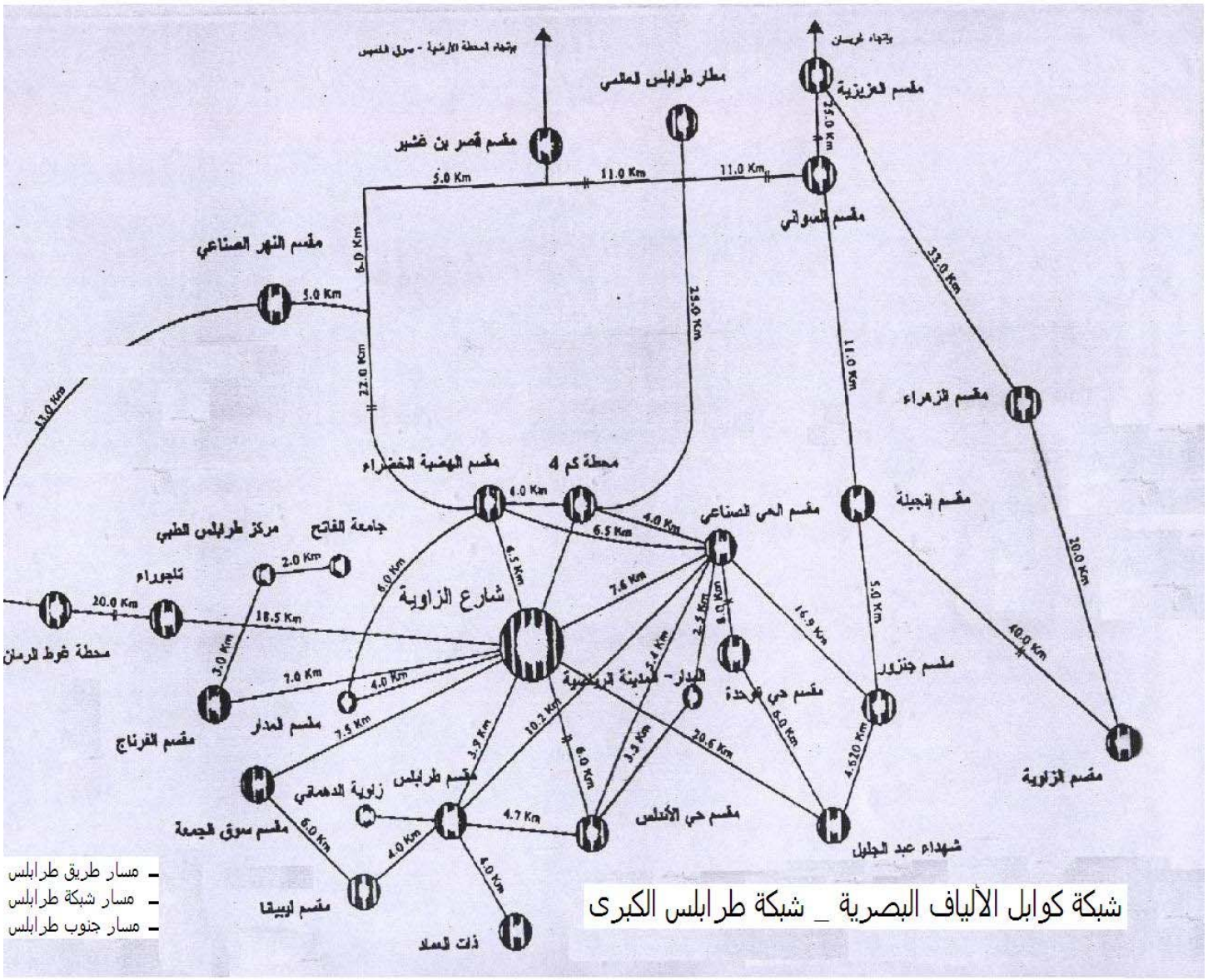
لقد قامت الشركة العامة للبريد بإدخال هذه الثقنية من خلال تنفيد ودراسة عدد من المشاريع نذكر منها على سبيل المثال لا الحصر:-

1- مشروع ربط المفتاح الرقمى بمدينة طرابلس بكوابل ألياف ضوئية وتنفيد بعض المشاريع ذاث العلاقة لربط بعض المقسمات بمدينة طرابلس.
2- الاستفادة من كابل الالياف البصرية لمشروع النهر الصناعي العطيم وذلك من خلال ربط بعض المقسمات الهاتفية عليه.
3- تنفيد مشروع لربط مذن وقري الجماهيرية بثقنية الجيل القادمة من خلال ربطها بكوابل ألياف ضوئية وبطول أجمالى حوالى 8 ألف كيلو متر (8000 Km).
4- تم الاستفادة من هذه الثقنية وذلك من خلال اذخال تقنية الالياف الضوئية بشبكة ربط المشتركين فى كل مدينتى بنى وليد و مصراته.
5- دراسة مشروع للاستفادة من هذه الثقنية (ثقنية ربط المشتركين بكوابل الالياف البصرية) لجميع المذن الجماهيرية.
6- ربط المنطقة الحدودية الغربية للجماهرية مع تونس الشقيقة بثقنية الالياف البصرية.

(1) ، (2) ، (3) ، (6) تم التنفيد (5) العروض تحث الدراسة.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

الخريطة 1.5 والتي توضح مسار كوابل الألياف البصرية بمدينة طرابلس.



المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

الخلاصة

مما لا شك فيه ان تقنية استخدام الألياف البصرية تعتبر أحد أهم المراحل التي شهدتها ثورة الاتصالات في هذا القرن. حيث تمكنت هذه التقنية وبما تتمتع به من ميزات من تلافي عيوب ومشاكل نظم الاتصالات السابقة . لكنه وبالرغم من الميزات المتعددة التي تتمتع بها انظمة الاتصالات الحديثة والتي اعتمدت في الأساس على استخدام التقنية الضوئية عبر الألياف البصرية, الا أن النظام السابق مازال يعمل حتي هذا اليوم ليس في الدول الفقيرة والنامية فحسب بل حتى في الدول المتطورة, وذلك لأن كلا النظامين مكملين لبعضهما البعض حيث انه من غير المجدي اقتصاديا استخدام الألياف البصرية من المقسم الرئيسي وحتى المستخدم أواستخدامه في شبكات ذات سعة محدودة وبسيطة. لقد أثبتت العديد من الدراسات المكتوبة وكذلك التطبيقات العملية ان استخدام تقنية الألياف البصرية يوفر جودة عالية وخيار أمثل من الناحية الفنية والاقتصادية. يكفي ان نقول ان الالياف البصرية تمتلك مزايا عديدة كقلة الفقد وخفة الوزن ولكن الميزالهامة هي سعة نطاقها العالية جداً والتي تصل الى آلاف البلايين من البتات لكل ثانية مما جعلها تحتل مكاناً متميزاً في مجال الاتصالات حيث استخدمت بدلا عن الاسلاك النحاسية في العديد من التطبيقات كا لربط بين المقاسم الهاتفية والخطوط بعيدة المدى وعبر البحار. إن الثورة الهائلة في مجال الاتصالات و المعلومات و التي تتمثل في الاستخدام غير المحدود للانترنت فرض واقعاً جديداً لا يمكن تحقيقه بدون شبكات اتصال ذات سعة نقل معلومات هائلة جداً و التي لا يمكن تطبيقها إلا باستخدام الألياف البصرية. رغم إن استخدام هذه التقنية الضوئية لنقل المعلومات عبر المسافات الطويلة استحوذ على معظم الاهتمام إلا أنها ايضا تستخدم لنقل المعلومات عبر المسافات القصيرة حيث تصل بين الكمبيوتر الرئيسي و الكمبيوترات الجانبية أو الطابعة. بعيدا عن مجال

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

الاتصالات ظهرت هناك استخدامات أخرى عديدة و مهمة لهذه الألياف فمثلا نتيجة لمرونتها و دقتها دخلت في صناعة الكاميرات الرقمية المتعددة المستخدمة في التصوير الطبي مثل التصوير الشعبي و المناظير. وكل يوم يمر تظهر فيه تطويرات جديدة في مجال هندسة الاتصالات وذلك لما يتمتع به هذا المجال من اهمية قصوى ومؤثرة في حياتنا اليومية.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

لعله من المهم جدا في هذه المرحلة الختامية من المشروع ان نطرح بعض التوصيات والتي ظهرت كنتاج لدراستنا لموضوع الألياف البصرية والثورة الهائلة التي أحدثتها في عالم الاتصالات. ان أهم مايميز عالمنا اليوم هو السرعة والدقة في كل شيء حيث أصبحت سرعة ودقة نقل المعلومة احد أهم المعايير التى يقاس بها تقدم الأمم. وصارت الألياف البصرية احدى اهم الدعامات الأساسية في مجال نقل المعلومات وفي انظمة التحكم وفي المنظومات الكبرى والرائدة في مجال الاتصالات ولن نكون مبالغين اذا قلنا ان الألياف البصرية اهم الدعامات في مجال الاتصالات على الاطلاق.

لذلك وتأسيسا على كل الميزات التي تتمتع بها الألياف البصرية والتي سبق تدارسها في الفصول السابقة من هذا المشروع نوصى بالاتي:-

- ✓ ضرورة اعتماد هذه التقنية كمحور أساسي في منظومة الاتصالات بالجماهيرية. وذلك لأتساع رقعة بلادنا ومايفرضة الواقع اليوم من حتمية ربط البلاد بشبكة اتصالات متطورة قادرة على استعاب الكل موفرة لهم كل الميزات الضرورية كبقية الدول المتطورة.
- ✓ ليس هذا فحسب بل ضرورة السعي لجعل الجماهيرية الرابط الأساسي لافريقيا مع العالم عبر كل نظم الأتصالات الفضائية والأرضية.
- ✓ ضرورة خلق كوادر فنية ذات قدرة عالية واداء فائق من الجيل الجديد الفتي لتسير مثل هذه المنظومات المتطورة.
- ✓ ضرورة تطوير المناهج الهندسية والفنية منها بالدرجة الأولى بحيث يمكننا ان نواكب التطور الهائل والمنقطع النظير في مجال الاتصالات.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

المراجع

- ✓ كتاب: أساسيات الاتصالات الكهربية التماثلية والرقمية.
- ✓ كتاب: الموسوعة الإلكترونية.
- ✓ كتاب:

Optical Fibre Communication Principles and Practice - Second edition

- ✓ كتاب خطوط النقل والألياف البصرية.
- ✓ بعض المعلومات المستقاه من شروح الأساتذة ـ مادة الاتصالات الرقمية.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com