اتصالات الألياف البصرية

تأليف :

أ. د. محمد عبد الرحمن الحيدر

مكتبة العبيكان

ⓒ مكتبة العبيكان، ١٤١٦هـ

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية

الحيدر، محمد عبد الرحمن

اتصالات الألياف البصرية.

... ص؛ ... سم

ردمك ٣ ـ ١٥٠ ـ ٢٠ ـ ٩٦٠٠

١ ـ اتصالات الألياف البصرية واللاسلكية أ ـ العنوان

ديوي ٥, ٣٨٤ ١٦/٠٧٩٥

ردمك ٣ ـ ١٥٠ ـ ٢٠ ـ ٩٦٠٠ رقم الإيداع: ١٦/٠٧٩٥

الطبعة الأولى

١٤١٦هـ/١٩٩٥م

حقوق الطبع محفوظة

لا يجوز نسخ أو استعمال أي جزء من هذا الكتاب في أي شكل من الأشكال أو بأية وسيلة من الوسائل ـ سواء التصويرية أم الإلكترونية أم الميكانيكية، بما في ذلك النسخ الفوتوغرافية والتسجيل على أشرطة أو سواها وحفظ المعلومات واسترجاعها ـ دون إذن خطي من الناشر.

الناشر

مكتبة العبيكان

الرياض ـ العليا ـ طريق الملك فهد مع تقاطع العروبة

ص. ب ٦٢٨٠٧ الرمز ١١٥٩٥

هاتف ٤٦٥٤٤٢٤ فاكس ٤٦٥٠١٢٩

بسم الله الرحمن الرحيم

المحتويـــات

مقدمة المؤلف

الفصل الأول
مقدمة في الاتصالات

١ - ١ لمحة تاريخية ١
١ - ٢ عناصر أنظمة الاتصالات ٦
١ - ٣ طيف الترددات الكهرومغناطيسية ١١
١ - ٤ قنوات الاتصال ١٨
١-٤-١ الخطوط السلكية ١٩
١-٤-٢ القنوات اللاسلكية ٢٣
١-٤-٣ موجات الراديـــو ٢٤
١ - ٥ الضوضاء ٢٧
١ - ٦ مَعْلمات أنظمة الاتصالات ٣١
١-٦-١ الديسيبل ٣١
١-٦-٢ وحدات مشتقة من الديسيبل ٣٢
١-٦-٣ نسبة الإشارة إلى الضوضاء ورقم الضوضاء ٣٤
١-٦-٤ عرض النطاق ٣٥
١-٦-٥ عرض الخط أو عرض الطيف ٣٧
١-٦-٦ التوهين ٣٩
١-٦-٧ فتحة النفوذ العددية ٣٩
١ - ٧ جداول الثوابت والوحدات ٤٠
١ - ٨ الخلاصة ٤٢
أسئلة ومسائل الفصل الأول ٤٣

الفصل الثاني
أهمية الألياف البصرية ٤٥

٢ - ١ تطور الاتصالات البصرية ٤٥
٢ - ٢ عناصر أنظمة الاتصالات عبر الألياف البصرية ٤٩

٢ - ٣ أنواع الألياف البصرية ٥٩
٢ - ٤ ميزات الألياف البصرية ٦٦
٢ - ٥ إستخدام الألياف البصرية ٧١
٢ - ٦ التوجهات المستقبلية ٧٣
٢ - ٧ الخلاصة ٧٤
أسئلة الفصل الثاني ٧٧

الفصل الثالث

أسس الموجات الضوئية ٧٨

٣ - ١ طبيعة الضوضاء ٧٨
٣-١-١ نظرية الجسيمات الدقيقة ٧٨
٣-١-٢ نظرية الموجات الكهرومغناطيسية ٧٩
٣-١-٣ نظرية الفوتونات ٨٢
٣ - ٢ طيف التردد البصري ٨٣
٣ - ٣ انعكاس الضوء ٨٦
٣ - ٤ انكسار الضوء ٨٨
٣ - ٥ التشتيت ٩٢
٣ - ٦ الانعراج ٩٢
٣ - ٧ فتحة النفوذ العددية ٩٥
٣ - ٨ الاستقطاب ٩٦
٣ - ٩ الخلاصة ٩٨
أسئلة ومسائل الفصل الثالث ٩٩

الفصل الرابع

بنية وخصائص الألياف البصرية ١٠٢

٤ - ١ ليف بمعامل انكسار عتبي (ليف عتبي) ١٠٢
٤ - ٢ ليف بمعامل انكسار متدرج (ليف متدرج) ١٠٥

٤ - ٣ التوهين ١١١
٤-٣-١ بنية الزجاج ١١٢
٤ - ٤ التشتيت ١٢٠
٤-٤-١ التشتيت النمطي أو الضمني ١٢٢
٤-٤-٢ التشتيت الباطني ١٢٧
٤ - ٥ معدل المعلومات ١٣٨
٤ - ٦ الأنماط في الألياف البصرية ١٤٣
٤-٦-١ الأنماط في الألياف العتبية ١٤٦
٤-٦-٢ الأنماط في الألياف المتدرجة ١٤٨
٤ - ٧ الخلاصة ١٥١
أسئلة ومسائل الفصل الرابع ١٥٧

الفصل الخامس
تصنيع الألياف البصرية ١٦٠

٥ - ١ إنتاج التشكيلة الأولية من الزجاج الذائب ١٦٠
٥ - ٢ إنتاج التشكيلة بترسيب بخار الزجاج ١٦٢
٥-٢-١ الترسيب بالتراكم الخارجي ١٦٢
٥-٢-٢ الترسيب بالتراكم المحوري ١٦٤
٥-٢-٣ الترسيب بالتراكم الكيميائي المعدل ١٦٥
٥-٢-٤ الترسيب بالتراكم الكيميائي بالبلازما ١٦٧
٥ - ٣ سحب الليف البصري ١٦٧
٥ - ٤ الخلاصة ١٦٩
أسئلة الفصل الخامس ١٧٠

الفصل السادس
الكابلات البصرية ١٧١

٦ - ١ الطبقة الواقية لليف البصري ١٧٢

٦ - ٢ التغليف ١٧٤
٦-٢-١ الغلاف الواقي لليفة بصرية واحدة ١٧٤
٦-٢-٢ الغلاف الواقي لعدة ألياف ١٧٧
٦-٢-٣ الغلاف الواقي الضيق ١٧٨
٦-٢-٤ الغلاف الواقي المركب ١٧٩
٦-٢-٥ تركيبة الألياف الشريطية ١٨٠
٦ - ٣ عناصر التقوية ١٨١
٦-٣-١ الأسلاك الفولاذية ١٨٢
٦-٣-٢ ألياف القماش ١٨٣
٦-٣-٣ البلاستيك المقوى بالزجاج ١٨٣
٦ - ٤ خواص المواد الأخرى المستخدمة في الكابل البصري ١٨٤
٦-٤-١ تأثير المواد المضافة ١٨٥
٦-٤-٢ الاشتعال ١٨٦
٦-٤-٣ السمية والعدوانية ١٨٦
٦ - ٥ وسائل حماية معينة ١٨٧
٦-٥-١ منع تسرب المياه ١٨٧
٦-٥-٢ الحماية من القوارض ١٨٨
٦-٥-٣ السيطرة على الهيدروجين ١٨٨
٦ - ٦ التأثيرات البيئية ١٨٩
٦-٦-١ درجة الحرارة ١٨٩
٦-٦-٢ الاجهاد الطولي ١٩٠
٦-٦-٣ الضغط ١٩٠
٦ - ٧ أنواع الكابلات البصرية ١٩١
٦-٧-١ كابلات الاستخدام العام ١٩١
٦-٧-٢ الكابلات المغمورة أو البحرية ١٩٢
٦-٧-٣ الكابلات الصناعية ١٩٤
٦-٧-٤ الكابلات الهوائية ١٩٤
٦-٧-٥ الكابلات المدفونة ١٩٥
٦-٧-٦ كابلات الاتصالات البعيدة ١٩٦

٦-٧-٧ كابلات الاتصالات العسكرية ١٩٨
٦-٧-٨ كابلات الاستخدام الخاصة ١٩٩
٦ - ٨ الخلاصة ٢٠١
أسئلة ومسائل الفصل السادس ٢٠٤

الفصل السابع
توصيل عناصر النظام الليفي البصري ٢٠٥

٧ - ١ مبادئ التوصيل ٢٠٥
٧ - ٢ تحضير الليف ٢٢٠
٧ - ٣ الوصلات الدائمة ٢٢٤
٧-٣-١ التوصيل الدائم بالصهر ٢٢٤
٧-٣-٢ التوصيلات الميكانيكية ٢٢٥
٧ - ٤ الموصلات ٢٢٩
٧ - ٥ المقارن ٢٣٦
٧-٥-١ بنية المقرن ٢٤١
٧-٥-٢ اقتران المنبع ٢٤٥
٧ - ٦ الخلاصة ٢٤٨
اسئلة ومسائل الفصل السابع ٢٥٠

الفصل الثامن
المنابع الضوئية ٢٥٣

٨ - ١ خصائص عامة ٢٥٣
٨-١-١ القدرة والكفاءة ٢٥٤
٨-١-٢ كفاءة الاقتران ٢٥٦
٨-١-٣ الطول الموجي وعرض الخط ٢٥٨

٨-١-٤ عرض النطاق وزمن الاستجابة ٢٥٨
٨-١-٥ الاستقرار والاعتمادية ٢٦٠
٨-١-٦ التكلفة ٢٦٠
٨ - ٢ وصلة PN ٢٦١
٨ - ٣ الثنائيات الباعثة للضوء ٢٦٥
٨-٣-١ ثنائي مستوي ٢٦٧
٨-٣-٢ ثنائي القبة ٢٦٨
٨-٣-٣ ثنائي باعث سطحي ٢٦٩
٨-٣-٤ ثنائي باعث حافيّ ٢٧٢
٨ - ٤ خصائص الثنائي الباعث للضوء ٢٧٣
٨ - ٥ ثنائيات الليزر ٢٨٠
٨-٥-١ ثنائي ليزر بوصلة متجانسة ٢٨١
٨-٥-٢ ثنائي ليزر ببنية غير متجانسة ٢٨٥
٨ - ٦ خصائص ثنائيات الليزر ٢٨٧
٨ - ٧ دوائر إلكترونية ٢٩١
٨-٧-١ دوائر تشغيل LED الرقمية ٢٩٤
٨-٧-٢ دوائر تشغيل LED التماثلية ٢٩٧
٨-٧-٣ دوائر تشغيل ثنائيات الليزر ٢٩٨
٨ - ٨ الخلاصة ٣٠١
أسئلة ومسائلة الفصل الثامن ٣٠٤

الفصل التاسع

الكواشف الضوئية ٣٠٦

٩ - ١ خصائص عامة ٣٠٦
٩ - ٢ الكواشف الضوئية ٣١٢
٩-٢-١ ثنائي ضوئي نوع PN ٣١٢
٩-٢-٢ ثنائي ضوئي نوع PIN ٣١٤

٩-٢-٣ ثنائي ضوئي جرفي ٣١٥
٩-٢-٤ الترانزستورات الضوئية ٣١٧
٩ - ٣ دوائر الكشف ٣١٨
٩-٣-١ دوائر PN و PIN ٣١٨
٩-٣-٢ دوائر PIN - FET ٣١٩
٩-٣-٣ دوائر APD ٣٢٣
٩ - ٤ الخلاصة ٣٢٥
أسئلة ومسائل الفصل التاسع ٣٢٨

الفصل العاشر

قياسات الألياف البصرية ٣٣٠

١٠ - ١ قياسات القدرة ٣٣١
١٠-١-١ المنابع والكواشف ٣٣١
١٠-١-٢ توزيع الحقل ٣٣٢
١٠-١-٣ فقد القدرة في الليف البصري ٣٣٤
١٠ - ٢ عرض النطاق ٣٤١
١٠-٢-١ قياس عرض النطاق ٣٤٢
١٠ - ٣ تشتيت اللون ٣٤٥
١٠-٣-١ طرق قياس تشتيت اللون ٣٤٧
١٠ - ٤ طول موجة القطع ٣٤٩
١٠-٤-١ طرق قياس طول موجة القطع ٣٤٩
١٠ - ٥ خواص التوصيل والوصل الدائم ٣٥٢
١٠-٥-١ هندسة الليف ٣٥٢
١٠-٥-٢ فتحة النفوذ العددية ٣٥٤
١٠-٥-٣ قطر الحقل النمطي ٣٥٤
١٠ - ٦ الانعكاس البصري في المجال الزمني ٣٥٦
١٠ - ٧ الخلاصة ٣٥٦

أسئلة الفصل العاشر ٣٥٧
بيان بالهيئات والمواصفات القياسية لنظم الاتصالات الليفية البصرية ٣٥٨

الفصل الحادي عشر

التشكيل وتعدد الإرسال ٣٦٦

١١ - ١ التشكيل ٣٦٦
١١ - ٢ التشكيل التماثلي ٣٦٧
١١-٢-١ تشكيل الاتساع ٣٦٧
١١-٢-٢ تشكيل الشدة المباشر ٣٧٠
١١-٢-٣ تشكيل الشدة بحامل فرعي ٣٧٣
١١-٢-٤ تشكيل الشدة بتشكيل تردد حامل فرعي ٣٧٥
١١ - ٣ تشكيل النبضات ٣٧٧
١١-٣-١ تشكيل اتساع النبضات ٣٧٨
١١-٣-٢ تشكيل الفترة الزمنية للنبضات ٣٨٠
١١-٣-٣ تشكيل مركز النبضات ٣٨٠
١١-٣-٤ تشكيل رمز النبضات ٣٨٣
١١ - ٤ تعدد الإرسال ٣٨٨
١١-٤-١ تعدد الإرسال بتقسيم الزمن ٣٨٨
١١-٤-٢ تعدد الإرسال بتقسيم التردد ٣٩٠
١١-٤-٣ تعدد الإرسال بتقسيم الطول الموجي ٣٩٣
١١-٤-٤ تعدد الإرسال بتقسيم التردد البصري ٣٩٤
١١-٤-٥ تعدد الإرسال بتقسيم الزمن البصري ٣٩٦
١١ - ٥ الخلاصة ٣٩٧
أسئلة ومسائل الفصل الحادي عشر ٤٠١

الفصل الثاني عشر

نظم الاتصالات الليفية البصرية ٤٠٥

١٢ - ١ منهجية تصميم نظم الألياف البصرية. ٤٠٥
١٢-١-١ مواصفات عناصر الوصلة الليفية البصرية ٤٠٧
١٢ - ٢ اعتبارات التصميم ٤٠٩
١٢-٢-١ إجراءات التصميم ٤١٠
١٢ - ٣ ميزانية القدرة ٤١٢
١٢ - ٤ ميزانية زمن الصعود أو عرض النطاق ٤١٧
١٢-٤-١ النظم التماثلية ٤١٧
١٢-٤-٢ النظم الرقمية ٤١٩
١٢ - ٥ الخلاصة ٤٢٤
أسئلة ومسائل الفصل الثاني عشر ٤٢٦
المراجع ٤٢٨
معجم المصطلحات العلمية ٤٣٠

مقدمة

شهد العقدان الماضيان تطورات هامة في مجالي الالكترونيات والاتصالات . وقد كان لمجال الاتصالات البصرية نصيب وافر في هذه التطورات ، منذ اكتشاف ألياف بصرية ذات فقد قليل عام ١٩٧٠م . فمنذ ذلك التاريخ حدثت تطورات سريعة ومتلاحقة في مجال الألياف البصرية ، حيث تم إنتاج ألياف ذات خواص جيدة وبفقد قليل ، إضافة إلى تطوير منابع وكواشف ضوئية ومكوّنات مختلفة تكاملت معًا لتقدم شبكات من الألياف البصرية ، وقد أصبحت هذه الشبكات العمود الفقري لأنظمة الاتصالات الحديثة وحلّت محل كثير من الأنظمة التي تستخدم الكابلات المحورية أو الأسلاك الهاتفية . وما كان ذلك ليتم لولا الميزات العديدة التي تمتلكها هذه الأنظمة كسعة النطاق ، وقلة فقد الألياف ، وعدم تأثرها بالتشويش ، ومقاومتها للظروف البيئية . ونظرًا لافتقار المكتبة العربية لكتب تعالج هذه الموضوعات فقد رأيت أنه من الضروري وضع كتاب يعمل على تقديم موضوع الألياف البصرية بصورة مبسطة دون الدخول في التفاصيل الرياضية والنظرية .

يصلح هذا الكتاب كمرجع للعاملين في مجال الاتصالات من إداريين ومهنيين . كما يمكن استخدامه كمدخل أولي لدراسة منهجية في الاتصالات عبر الألياف البصرية . وينقسم الكتاب إلى اثني عشر فصلاً . يقدم الفصل الأول نظرة عامة إلى أنظمة الاتصالات وتطورها ، كما يستعرض عناصر هذه الأنظمة وقنوات الاتصال والعوامل المرتبطة بها . ويُعطي الفصل الثاني شرحًا لعناصر أنظمة الاتصالات عبر الألياف البصرية ، ويستعرض أنواع الألياف البصرية واستخداماتها . أما الفصل الثالث فيقدم مبادىء أساسية حول الموجات الضوئية والبصريات . وتشرح الفصول اللاحقة وهي الرابع والخامس والسادس بنية وخصائص الألياف البصرية وطرق تصنيعها وأنواع الكابلات المصنوعة منها . ويطرح الفصل السابع موضوع توصيلات عناصر أنظمة

الألياف البصرية . ويقدم الفصل الثامن خصائص ومواصفات المنابع الضوئية ويُعطي الفصل التاسع خصائص ومواصفات الكواشف الضوئية . أما الفصل العاشر فيتحدث عن طرق قياس معلمات الأليات البصرية . ويتحدث الفصل الحادي عشر عن طرق التشكيل وتعدد الإرسال المستخدمة في أنظمة اتصالات الألياف البصرية . ثم يُقدِّم الفصل الثاني عشر اتصالات الألياف البصرية بشكل متكامل ويشمل ذلك شرحًا لمواصفاتها ومنهجية تصميمها . ويُعطي الكتاب أخيرًا قائمة بالمراجع والمصطلحات التي استخدمت باللغتين العربية والإنجليزية . وتجدر الإشارة إلى أن التعامل مع ترجمة المصطلحات إلى اللغة العربية قد تم بمنهجية ذات مرحلتين . في المرحلة الأولى تمت الترجمة باستخدام معجم مصطلحات الاتصالات المعتمد من قبل الاتحادين الدولي والعربي للاتصالات ، ومن قبل وزارة البرق والبريد والهاتف السعودية . لكن هذا المعجم لم يتضمن كافة المصطلحات المستخدمة في هذا الكتاب ، لذا جاءت المرحلة الثانية مرحلة اجتهاد في اختيار مفردات عربية مناسبة للمصطلحات غير الواردة في المعجم . وآمل أن يكون هذا الاختيار موفقًا بما يساهم في توسيع هذا المعجم في المستقبل .

إن هذا الكتاب ليس إلاّ محاولة لطرح موضوع علمي من أكثر الموضوعات سرعة في التغير والتجدد في الوقت الحاضر ، وجعل هذا الطرح مبسطًا يستفيد منه قطاع كبير من المهتمين ، وتقديمه باللغة العربية إيمانًا بأن اللغة الأم هي خير لغة لنقل التقنية إلى عقول أبناء الأمة . وقد وضعت كل ما توفر لديَّ من إمكانات لجعلها محاولة ناجحة . لكن الرأي في النهاية ملك للقارئ الكريم . وإني في هذا المجال أرحب بكل نقد يمكن أن يؤدي إلى تطوير الكتاب في الطبعات التالية شكلاً ومضمونًا . وسيكون لي ، إن شاء الله ، في تلك الطبعات محاولة أخرى تشمل حصر المستجدات وتحديث المعلومات بما يتناسب مع مايقدمه الإبداع العلمي والتقني المستمر في هذا المجال الحيوي .

وفي الختام يسرني أن أتوجه بالشكر والتقدير إلى كل من ساهم في إخراج هذا العمل . وأخص بالذكر الدكتور عبدالرحمن محمد العمود ، مدير مركز البحوث في كلية الهندسة ، جامعة الملك سعود ، الذي اهتم بدعم العمل ومتابعته ، وكذلك الأخوة الأفاضل الذين ساهموا في طباعة الكتاب ، وإعداد رسومه وإخراجه بشكله النهائي .

وفقنا الله لما يحبه ويرضاه

د. محمد عبدالرحمن الحيدر
أستاذ بقسم الهندسة الكهربائية
كلية الهندسة - جامعة الملك سعود

الرياض - المملكة العربية السعودية
١٤١٦هـ - ١٩٩٥م

الفصل الأول

مقدمة في الاتصالات

الفصل الأول

مقدمة في الاتصالات

Introduction to Communications

يقدم هذا الفصل نظرة عامة إلى هندسة الاتصالات تبدأ بلمحة تاريخية تتضمن استعراضاً لتطور الاتصالات الكهربائية منذ أن وضع أوم Ohm قانونه الشهير وحتى الآن. يلي ذلك استعراض لعناصر أنظمة الاتصالات في الإرسال والاستقبال ثم دراسة لطيف الترددات الكهرومغناطيسية وتقسيماتها المختلفة ، بعد ذلك نتطرق إلى قنوات الاتصال السلكية واللاسلكية ، وحيث أن نظم الاتصالات لاتخلو من الضوضاء الداخلية والخارجية فقد خصص بند لذلك ، وينتهي الفصل بشرح لبعض المفردات اللازمة لفهم أنظمة الاتصالات وجدولة الثوابت والوحدات المستخدمة في الكتاب .

١-١ لمحة تاريخية Historical Review

منذ فجر التاريخ والإتصالات تشكل جزءً من حياة الإنسان اليومية ، فعندما يتحدث كل منا إلى الآخر فإن المتحدث هو المرسل والمستمع هو المستقبل والمسافة بينهما هي قناة الإتصال ، فلو ابتعدنا عن بعضنا فقد لايسمع أي منا الآخر فنضطر في هذه الحالة إلى استخدام الإشارة إذا كان نظر المستقبل موجهاً إلى المرسل. وحتى في هذه الحالة هناك مسافة معينة للإتصال عندها نضطر إلى البحث عن وسائل أخرى ،منها مثلاً أن نكلف أحد الأشخاص بنقل رسالة إلى شخص آخر . وهذه الطريقة لها محاذيرها إذ قد لايستطيع هذا الشخص تذكر المعلومات المراد نقلها ،كما أن المسافة والسرعة محدودتان. يتضح من هذا المثال أن هناك ثلاثة عناصر تحدد مواصفات نظام الإتصال، وهي كمية المعلومات المنقولة ، وسرعة نقل المعلومات، ومسافة نقلها.

وقد تطور الأمر بعد اكتشاف الكتابة والقراءة. فقد باتت المعلومات تكتب وترسل باليد ، لكن حامل المعلومات لايستطيع أن يسرع بها كما أن المسافة التي

يستطيع أن يقطعها قد قلت بسبب مايحمله من رسائل ثم استخدمت الحيوانات لنقل هذه الرسائل ، وقد يستغرق تبادل الرسائل أياماً وأشهر طويلة. وقد استطاع الإنسان في بحثه عن وسائل تمكنه من زيادة سرعة مراسلاته أن يكتشف مزايا الحمام الزاجل إذ تستطيع الحمامة الطيران لمدة تصل إلى سبع عشرة ساعة دون توقف وبسرعة تصل إلى ستين كيلومتراً في الساعة. وقد كان هذا الطائر ولفترة طويلة هو المرسال السريع ، غير أن مايستطيع حمله من معلومات كان محدوداً .

في القرن الثامن عشر ميلادي بدأ نظام الإتصالات المعروف « بالسيمافور» ينتشر في بقاع كثيرة من العالم كوسيلة من وسائل الإتصال السريع .ويعتمد هذا النظام على تمثيل الكلمات بإشارات حركة أعلام أو إشارات ضوئية ، وقد كان إستخدامه في البداية مقصوراً على تبادل الإتصالات بين السفن عند تقاربها إلى مدى الرؤية أو بين الموانيء والسفن خصوصاً أثناء الليل للمساعدة في توجيه حركتها. ثم امتد إستخدامه ليشمل إقامة محطات سيمافور بين المدن وكانت هذه المحطات عبارة عن أبراج عالية لاتتجاوز المسافة بين محطتين متجاورتين الثلاثة كيلو مترات. وكانت كل محطة تقوم بملاحظة الإشارات القادمة من محطة مرسلة تسبقها لتقوم بعد ذلك بنقلها كما جاءت إلى محطة أخرى تليها ولتصل الإشارات المعبرة عن الكلمات المرسلة بعد عدة إجراءات من هذا النوع إلى المحطة الواقعة في المدينة المقصودة وكان نقل رسالة صغيرة بهذه الطريقة بين مدينتين لايتجاوز البعد بينهما مائة كيلومتر يستغرق عدة دقائق وبالرغم من فائدة هذه الأنظمة إلا أنها باهظة التكاليف وتعتمد على الطقس .

ثم جاء استغلال ظواهر الكهرباء والمغناطيسية لنقل المعلومات والرسائل بين بقاع الأرض بسرعة وفاعلية وهكذا بدأت الإتصالات عصراً جديداً شهدت خلاله تطورات هائلة غيرت وجه العالم الذي عرفته الأجيال التي عاشت قبل هذا العصر. ولإلقاء الضوء على هذه التطورات يبين الجدول (١-١) متابعة زمنية لهذا التطور.

الجدول (١-١) التطور التاريخي للإتصالات

التاريخ	الحـــــدث
١٨٢٦	أوم Ohm يضع قانونه الشهير في الكهرباء
١٨٣٠-١٨٤٠	فاراداي Faraday وآخرون يكتشفون وجود علاقة بين المجالات الكهربائية والمجالات المغناطيسية.
١٨٣٤	ظهور التلغراف telegraph على يدي غاوس Gauss وويبر Weber
١٨٣٧	تنفيذ أول نظام تلغرافي في بريطانيا على يدي كل من كوك Cooke وويتستون Wheatstone.
١٨٤٤	تنفيذ أول نظام تلغرافي في أمريكا على يدي مورس Morse صاحب الرموز التلغرافية الشهيرة.
١٨٦٤	نشر ماكسويلMaxwellنظريته حول إنتشارالموجات الكهرومغناطيسية
١٨٦٦	تنفيذ أول نظام تلغرافي عبر الأطلسي.
١٨٧٦	ظهور الهاتف telephone على يدي ألكسندر جراهام بيل Bell.
١٨٨٧	هرتز Hertz يثبت نظرية ماكسويل Maxwell في انتشار الموجات الكهرومغناطيسية.
١٨٩٤	لودج Lodge ينفذ أول إرسال لاسلكي wireless للموجات لمسافة تقدر بحوالي ١٥٠ متراً.
١٨٩٧	ماركوني Marconi يقدم أول نظام تلغرافي يعمل لاسلكياً.
١٨٩٨	ماركوني Marconi ينفذ إرسالاً لاسلكياً لمسافة ٩٦ كيلومتراً.
١٩٠١	ماركوني Marconi ينفذ إرسالا لاسلكياً عبر الأطلسي.
١٩٠٤	فلمنج Fleming يبتكر الصمام الإلكتروني الثنائي diode.
١٩٠٦	لي دي فورست Lee De Forest يبتكر الصمام الإلكتروني الثلاثي triode.

١٩١٨	آرمسترونج Armstrong يبتكر طريقة الاستقبال اللاسلكي بواسطة المزج المتقدم superheterodyne .
١٩٢٠	كارسون Carson يطبق مبدأ العينات sampling في الإتصالات.
١٩٢٠	إنشاء أول محطة إذاعية radio station في مدينة بتسبرج Pittsburgh الأمريكية .
١٩٢٦	تنفيذ أول مكالمة هاتفية تجريبية بين أوروبا وأمريكا عبر الأطلسي.
١٩٢٩	فلاديميرزوركن Zworykin يقدم أول نظام تلفزيوني television تجريبي.
١٩٣٣	آرمسترونج Armstrong يبتكر تشكيل التردد frequency modulation
١٩٣٧	ريفز Reeves يبتكر تشكيل رمز النبضات pulse-code modulation
١٩٣٨	بداية الإرسال التلفزيوني.
١٩٣٩-١٩٤٥	شهدت فترة الحرب العالمية الثانية ظهور أنظمة الرادار radar ، وأنظمة الموجات الصغرية microwave . كما شهدت أيضاً تطبيق الأساليب الإحصائية statistical methods في استخلاص الموجات signal extraction
١٩٤٨	ظهور الترانزستور transistor
١٩٤٨	شانون Shannon ينشر بحثه حول النظرية الرياضية للإتصالات mathematical theory of communications
١٩٥٠	تطبيق مبدأ تجميع تقسيم الزمن time-division multiplexing في أنظمة الهاتف.
١٩٥٠	البدء في بناء محطات أنظمة الإتصالات بواسطة الموجات الصغرية microwave على نطاق عملي واسع .
١٩٥٣	بناء أول كابل cable بحري للإتصالات الهاتفية بين أوروبا وأمريكا.

١٩٦٠	عبر المحيط الأطلسي . بداية سواتل الاتصالات communication satellites : في هذا العام أرسل ساتلان إلى الفضاء :أيكوECHO، وكورير COURIER.
١٩٦٠	ميمان Maiman يكتشف الليزر LASER ، وهذا الإسم اختصار لجملة "تضخيم الضوء بالانبعاث المثار للإشعـــاع : Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
١٩٦٢	أول استخدام فعلي لسواتل الاتصالات في مجال الهاتف، والتلفزيون ، والمعطيات data كان بواسطة الساتل تليستار Telstar.
١٩٦٩	أول إرسال صوت وصورة من الساتل.
١٩٧٠-١٩٦٠	- بناء أنظمة هاتفية عملية على أساس تشكيل رمز النبضات PCM.
	- استخدام الليزر تجريبياً.
	- ظهور الدوائر الإلكترونية المتكاملة.
	- ظهور التلفزيون الملون.
	- تعزيز بحوث معالجة الموجات الرقمية.
١٩٨٠-١٩٧٠	- تعزيز إستخدام السواتل في الاتصالات.
	- ظهور الدوائر المتكاملة ذات المجال المتسع VLSI.
	- ظهور شبكات الحاسوب computer networks
	- استخدام الحاسوب computer على نطاق واسع في أنظمة الاتصالات.
١٩٨٧-١٩٨٠	- ظهور شبكات الحاسوب المحلية local area computer networks
	- تعزيز الإتصالات في النطاق المتسع wideband communication
	- استخدام الألياف البصرية optical fiber
	- إطلاق ثلاثة سواتل عربية للإتصالات Arabsat.

١٩٨٨ وما بعد	- تعزيز أساليب الإتصالات الرقمية. - توسيع استخدام أنظمة إتصالات الوحدات المتحركة. - سواتل البث المباشر. - توسيع استخدام شبكات الحاسوب خصوصاً مع وجود بنوك المعلومات فيها: viewdata - ربط كافة أنواع أنظمة الإتصالات ضمن شبكة واحدة. - تطورات أخرى .

١ - ٢ عناصر انظمة الإتصالات Elements of Communication Systems

يبين الشكل (١-١) الهيكل العام لأي نظام إتصالات ، ويتكون هذا الهيكل من العناصر الأساسية التالية :

أ - مصدر المعلومات المطلوب إرسالها information source.

ب - محول طاقة للمدخل input transducer حيث يجري تطبيق المعلومات المطلوب إرسالها، وتحويلها إلى موجة كهربائية.

جـ - جهاز إرسال أو مرسل transmitter ومهمته إستخدام الأساليب المناسبة لإرسال المعلومات بشكلها الكهربائي عبر قناة الإتصال.

د - قناة إتصال communication channel .

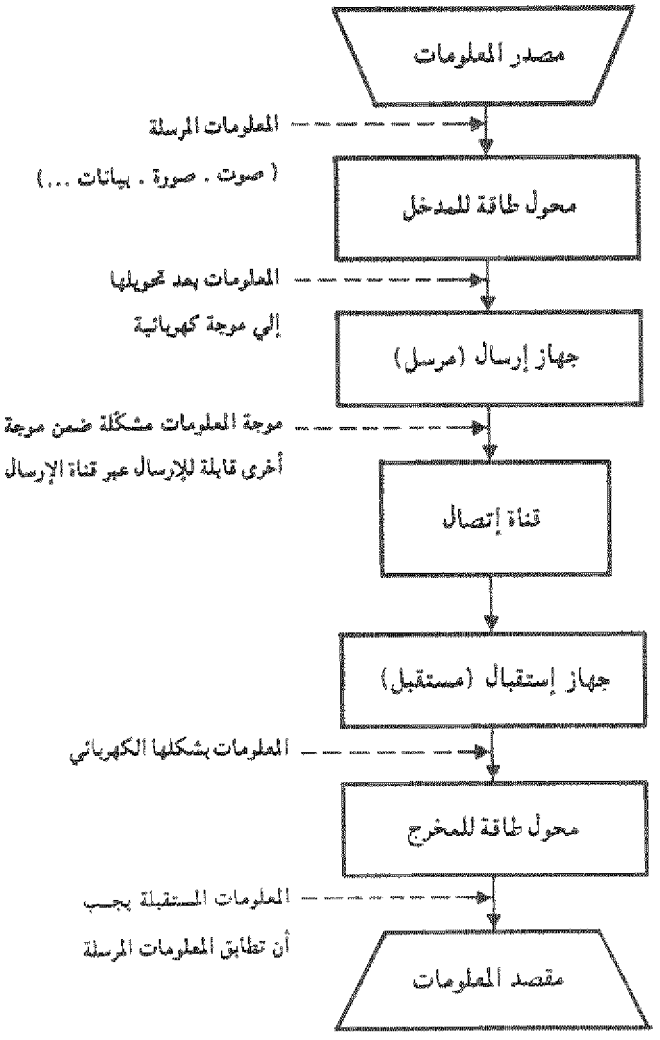
هـ - محول طاقة للمخرج output transducer ويعمل على إعادة المعلومات إلى شكلها الأصلي.

و - مقصد المعلومات information destination وهو الهدف الذي تم من أجله إرسال المعلومات .

تنقسم المعلومات التي يُطلب إرسالها عادة إلى نوعين رئيسيين هما : معلومات تماثلية analog information ، ومعلومات رقمية digital informantion . ويمكن التعبير عن المعلومات التماثلية على أنها متغيرات تتغير قيمتها بشكل مستمر continuous مع تغير الزمن مثل : أصوات الناس، والموسيقى ، والمشاهد المرئية ، ودرجة الحرارة ، والضغط ، وغير ذلك من المتغيرات . أما المعلومات الرقمية فهي ، بالمقارنة مع المعلومات التماثلية ، متغيرات ذات قيم منفصلة تتغير بشكل متقطع discrete مع تغير الزمن مثل: البيانات المكتوبة ، والأرقام ، والثقوب على البطاقات المستخدمة في الحاسوب ، وغيرها.

وعندما يقدم مصدر ما للمعلومات ، معلومات يطلب إرسالها ، فسواء كانت هذه المعلومات تماثلية أو رقمية ، لابد من إجراء تحويل لها في الشكل مع الاحتفاظ بالمضمون ، بحيث يكون الشكل الجديد مناسباً لنظام الإتصالات المستخدم. والشكل المناسب للمعلومات في أنظمة الإتصالات الكهربائية هو بالطبع الشكل الكهربائي. أي يجب تحويل المعلومات المطلوب إرسالها إلى موجات كهربائية تستطيع المرور عبر أجهزة الإتصالات الكهربائية . ويتم ذلك عادة بواسطة محول طاقة المدخل. وفي حالة إرسال الأصوات speech يكون محول الطاقة هذا عبارة عن ميكرفون microphone، حيث يمكن لمثل هذا الجهاز أن يكون أحد عناصر دائرة كهربائية ، مقاومة مثلاً ، تتغير قيمتها بتغير إهتزازات الصوت المطبقة عليها، وبالتالي تعمل على تغيير التيار الكهربائي المار في الدائرة تبعاً لهذه الإهتزازات ، وتتشكل بذلك موجة كهربائية تحمل ذات المعلومات التي تحملها الإهتزازات الصوتية ، وتدعى هذه الموجة بالموجة الكهربائية للمعلومات أو إشارة المعلومات information signal .

بعد الحصول على موجة كهربائية تمثل المعلومات المطلوب إرسالها، يمكن تمرير هذه الموجة مباشرة إلى قناة الإتصال عندما تكون مسافة الإتصال محدودة بنطاق محلي local . ولكن من أجل مسافات إتصال كبيرة فإنه يجب تزويد موجة المعلومات بما يلزم من أجل رحلتها عبر هذه المسافات ، وتلك هي مهمة جهاز الإرسال. والعملية الأساسية



الشكل (١- ١) العناصر الأساسية لنظام إتصالات

التي يقوم بها هذا الجهاز عادة هي التشكيل modulation ، وتتلخص هذه العملية في القيام بتحميل موجة المعلومات على موجة أخرى تدعى بالموجة الحاملة carrier ، واستخراج موجة تتضمن المعلومات ، قابلة للإرسال عبر المسافات تدعى عادة بالموجة المشكلة modulated أو موجة التشكيل . وبالإضافة إلى عملية التشكيل هذه يقوم جهاز الإرسال بعمليات أخرى تشمل : تضخيم الموجات amplification ، وترشيح أو تصفية الترددات filtering ، ووضع موجة التشكيل على قناة الإرسال باستخدام الهوائي antenna أو أي أجهزة مناسبة أخرى تبعاً لنوع القناة المستخدمة .

هناك نوعان أساسيان من قنوات الإتصال . يستخدم أحدهما الخلاء كقناة لإرسال الموجات كما هو الحال في الأنظمة الإذاعية radio،أما النوع الآخر فيستخدم الأسلاك لهذه الغاية كما هو الحال في معظم أنظمة الهاتف المحلية local telephone . وهناك أمثلة كثيرة لأنظمة الإتصال عبر الخلاء منها مايمتد عبر الفضاء إلى السواتل satellites ذهاباً وعودة . وبالإضافة إلى ذلك هناك أيضاً أمثلة أخرى كثيرة لأنظمة الإتصال عبر الأسلاك منها مايمتد عبر مسافات طويلة براً وبحراً ، مثل الكابلات cables التي تمتد تحت البحار أو بين القارات. ولاتقتصر أنظمة الإتصالات في الوقت الحاضر على استخدام الأسلاك المعدنية في الكابلات، بل هناك أنظمة حديثة تستخدم كابلات من الألياف البصرية optical fibers موضوع هذا الكتاب وستحدث في بند خاص من هذا الفصل عن أنواع قنوات الاتصالات السلكية واللاسلكية .

وتشترك قنوات الإتصال أياً كان نوعها في مشكلة أساسية هي تداعي degradation مستوى الموجة المرسلة بين المرسل والمستقبل. وعلى الرغم من أن مثل هذا التداعي قد يحدث في مختلف عناصر أنظمة الإتصالات ، إلا أن القدر الأكبر منه هو من نصيب قناة الإتصال خصوصاً مع تباعد المسافات. وهناك أسباب متعددة لتداعي الموجة المرسلة عبر قناة الإتصال مثل الضوضاء noise وتأثير موجات أخرى على الموجة المرسلة أو مايعرف بالتداخل interference ، وكذلك خمود fading قوة الموجة

المرسلة ، وغير ذلك من التأثيرات غير المرغوبة . وسوف نتحدث في بند خاص من هذا الفصل حول مثل هذه التأثيرات ليس في قناة الإتصال فقط ، بل في عناصر أنظمة الإتصالات الأخرى أيضاً .

تصل الموجة المرسلة إلى المستقبل عبر قناة الإتصال، ومهمة هذا الجهاز كما عبرنا سابقاً هي تلقي هذه الموجة ، وهي موجة التشكيل المكونة من موجة حاملة تحمل موجة المعلومات ، واستخراج موجة المعلومات منها تمهيداً لتطبيقها على محول طاقة المخرج الذي يعمل على إعادة المعلومات إلى شكلها الأولي الذي كانت عليه قبل دخولها عبر مراحل الإتصال المختلفة. وعلى ذلك فإن العملية الأساسية لجهاز الإستقبال أو المستقبل هي إزالة التشكيل demodulation والتخلي عن الموجة الحاملة التي تكون قد أدت الغاية التي استخدمت من أجلها. وتسمى عملية إزالة التشكيل أيضاً بعملية الكشف detection ، أي الكشف عن موجة المعلومات المطلوبة. وبالإضافة إلى عملية إزالة التشكيل هذه يقوم المستقبل بعمليات أخرى مثل الترشيح وتصفية الترددات ، والتضخيم ، وغير ذلك .

وفي مرحلة محول طاقة المخرج التي تلي المستقبل يجري تحويل الموجة الكهربائية للمعلومات التي تطبق عند مدخل هذه المرحلة إلى الشكل الأصلي للمعلومات نفسها. فإذا كان هذا الشكل صوتاً ، فإنه يمكن إستخراج هذا الصوت من الموجة الكهربائية التي تعبر عنه بواسطة المجهار loudspeaker وقد يحتوي هذا المجهار على ملف كهربائي وصفائح معدنية ، فعند تمرير تيار موجة المعلومات عبر الملف فإن الأثر المغناطيسي للتيار يتغير مع تغير هذا التيار، ويؤدي هذا إلى تغير جذب الصفائح المعدنية التي تعطي بذلك الصوت المطلوب. وهناك بالطبع لكل نوع من المعلومات المرسلة محول طاقة مناسب يقدم لمقصد المعلومات ذات المعلومات التي كان مصدر المعلومات قد أصدرها .

١ - ٣ طيف الترددات الكهرومغناطيسية Electromagnetic Spectrum

تنقسم ترددات الموجات الكهرمغناطيسية التي يجري إرسالها في أنظمة الإتصالات المعتادة إلى ثمانية نطاقات رئيسية. وتتمتع كل من هذه النطاقات بمواصفات إرسال خاصة تجعلها مناسبة لعدد من التطبيقات. ويبين الجدول (١-٢) هذه النطاقات الثمانية إلى جانب أطوال موجاتها، وقد جرى استخلاص أطوال الموجات هذه اعتماداً على المبدأ التالي :

المسافة = السرعة × الزمن ..... (1.1)

فإذا كانت المسافة هي طول موجة واحد λ، فإن الزمن يكون الفترة الزمنية للموجة أو دور الموجة period ، ويرمز له بالرمز T . وإذا اعتبرنا أن سرعة إنتشار الموجات الكهرومغناطيسية هي سرعة الضوء [300 000 km/sec] ، فإنه يمكن اعتماداً على المبدأ السابق استنتاج أن :

$$\lambda = 3 \times 10^8 \, T \ [\ meter\ ] \quad ..... \ (1.2)$$

حيث يقدر طول الموجة بالمتر ودورها بالثانية . وبما أن العلاقة بين الدور والتردد frequency ويرمز له بالرمز f هي :

$$f = (1/T)$$

لذا تصبح العلاقة التي يمكن بواسطتها حساب طول الموجة بدلالة التردد على النحو التالي :

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{f} \ [\ meter\ ] \quad ..... \ (1.3)$$

الجدول (١-٢) النطاقات الرئيسية في طيف الترددات الكهرومغناطيسية

المجـــــال	الترددات	أطوال الموجات
نطاق الموجات الطويلة جداً Very Low Frequency [VLF]	3kHz-30 kHz	100km - 10km
نطاق الموجات الكيلومترية Low Frequency (LF)	30 kHz -300kHz	10km - 1 km
نطاق الموجات الهكتومترية Medium Frequency [MF]	300 KHz -3 MHz	1000 m - 100m
نطاق الموجات الديكامترية. High Frequency [HF]	3 MHz - 30 MHz	100 m - 10 m
نطاق الموجات المترية Very High Frequency [VHF]	30 MHz-300MHz	10 m - 1 m
نطاق الموجات الديسمترية Ultra - High Frequency [UHF]	300 MHz -3 GHz	100 cm - 10 cm
نطاق الموجات السنتيمترية Super High Frequency [SHF]	3 GHz - 30 GHz	10 cm - 1 cm
نطاق الموجات المليمترية . Extremely High Frequency [EHF]	30 GHz-300 GHz	1 cm - 1 mm

وتقدر الترددات عادة بعدد الإهتزازات في الثانية الواحدة . وتعرف وحدة ذلك، أي الإهتزازة الواحدة في الثانية ، بالهرتز Hertz ، ويرمز لها بالرمز Hz . وفي الجدول (١-٢) جرى استخدام مضاعفات الهرتز وهي :

كيلو هرتز = $kHz\ (kilohertz) = 10^3\ Hz$

ميجا هرتز = $MHz\ (megahertz) = 10^6\ Hz$

جيجا هرتز = $GHz\ (gigahertz) = 10^9\ Hz$

أما أطوال النطاقات فتقدر بوحدات المسافة مثل المتر meter ، ويرمز لهذه الوحدة بالرمز m. وفي الجدول (١-٢) جرى إستخدام مضاعفات وأجزاء المتر وهي :

كيلومتر = km (kilometer) = 1000m

سنتمتر = cm (centimeter) = (1/100)m

ملليمتر = mm (millimeter) = (1/1000) m = 1/10) cm

والآن وبعد أن عرفنا النطاقات الرئيسية لطيف الترددات المغناطيسية نلقي الضوء فيما يلي على بعض الإستخدامات الهامة ضمن كل من هذه النطاقات :

أ - نطاق الموجات الطويلة [VLF] ،نطاق الموجات الكيلومترية [LF] ، ويستخدمان أساساً في الملاحة navigation.

ب - نطاق الموجات الهكتومترية [MF] ،ويطلق عليه أيضاً نطاق الموجات المتوسطة: [medium wave: MW] ، ويستخدم غالباً في الإرسال الإذاعي المعتاد.

جـ - نطاق الموجات الديكامترية [HF] ، ويستخدم في بعض أنظمة الهاتف ، والإتصالات بين الطائرات والسفن وغير ذلك.

د - نطاق الموجات المترية [VHF] ، ويستخدم في بعض أنظمة التلفزيون والإرسال الإذاعي ، وأنظمة التحكم بالحركة الجوية ، وأنظمة إتصالات الشرطة، وغيرها.

هـ - نطاق الموجات الديسمترية (UHF) ،ويستخدم أيضاً في بعض أنظمة التلفزيون، وعدد من أنظمة الرادار ، والسواتل.

و - نطاق الموجات السنتيمترية [SHF] ، ويستخدم في عدد من أنظمة الرادار المختلفة،وفي الوصلات الصغرية microwave links، وعدد من أنظمة إتصالات الوحدات المتحركة mobile communication system.

ز - نطاق الموجات المليمترية [EHF] ، ويستخدم في بعض أنظمة القطارات railroad services ، وبعض أنظمة الرادار ، كما يستخدم أيضاً في إجراء

الإختبارات.

ونظراً لإتساع نطاقات الترددات العليا ، وإمكاناتها في استيعاب العديد من التطبيقات ، فقد جرى تقسيم هذه النطاقات إلى عدد من الأقسام لكل منها نطاق محدد من الترددات frequency band . ووضع لكل نطاق إسم أو رمز محدد ، ويبين الجدول (١-٣) هذه التقسيمات ، والإسم أو الرمز الذي كان متداولاً في الماضي لكل نطاق فيها ، بالإضافة إلى الأسماء أو الرموز المتداولة حالياً .

يلاحظ من الجدول (١-٣) أن ترددات النطاقات المذكورة تضم جزءاً من نطاق الموجات الديسمترية UHF ، ونطاق الموجات السنتيمترية SHF ، بالإضافة إلى جزء من نطاق الموجات المليمترية EHF ويدعى مجموع هذه النطاقات جميعاً بنطاق الموجات الصغرية microwaves .

وبالإضافة إلى ماسبق من نطاقات الترددات ، هناك نطاق ترددات معروف يقل في معظم تردداته عن نطاق الموجات الطويلة جداً VLF ، وهناك نطاقات أخرى تتفوق في تردداتها على نطاق الموجات المليمترية EHF. أمانطاق الذي تقل تردداته عن نطاق الموجات الطويلة جداًفيعرف بنطاق الموجات الصوتيةVF voice frequency، وتقع تردداته مابين التردد 300Hz والتردد 3.4kHz . وتتراوح الترددات المنخفضة للغاية Extra Low Frequency ELF مابين 30Hz و 300Hz .

الجدول (١-٣) نطاقات ترددات الموجات الصغرية ورموزها

المجـــــال	الرمز السابق	الرمز الحالي
500 MHz - 1 GHz	VHF	C
1 GHz - 2 GHz	L	D
2 GHz - 3GHz	S	E
3 GHz - 4GHz	S	F
4 GHz - 6GHz	C	G
6 GHz - 8 GHz	C	H
8 GHz - 10 GHz	X	I
10 GHz -12.4 GHz	X	J
12.4 GHz-18GHz	Ku	J
18 GHz - 20 GHz	k	J
20 GHz - 26.5 GHz	k	k
26.5 GHz- 40GHz	ka	k

ولا تستخدم موجات مثل هذه الترددات عادة كموجات كهرومغناطيسية يجري إرسالها من قبل أنظمة الإتصالات ، بل يجري إرسال الأصوات التي تقع ضمن هذا المجال من الترددات محمّلة على موجات أخرى تتفوق في ترددها على الترددات الصوتية كما سنرى في دراسة موضوعات التشكيل modulation. وعلى الرغم من أن ترددات الأصوات التي يمكن للأذن البشرية أن تسمعها تفوق الحد الأعلى في نطاق الترددات الصوتية المذكور، وربما تصل إلى 15kHz ، إلا أنه اكتُشِفَ أن نطاق الترددات الصوتية المختار ، يحمل الخواص الأساسية للأصوات ، لذا فإن اعتماده في الإتصالات يحقق غاية الإتصال المنشودة من جهة ، ويوفر في مجال الترددات الصوتية المطلوب إرسالها من جهة ثانية .

أما الموجات التي تفوق في ترددها نطاق الموجات المليمترية EHF فتنقسم إلى عدة أقسام نوردها باختصار فيما يلي :

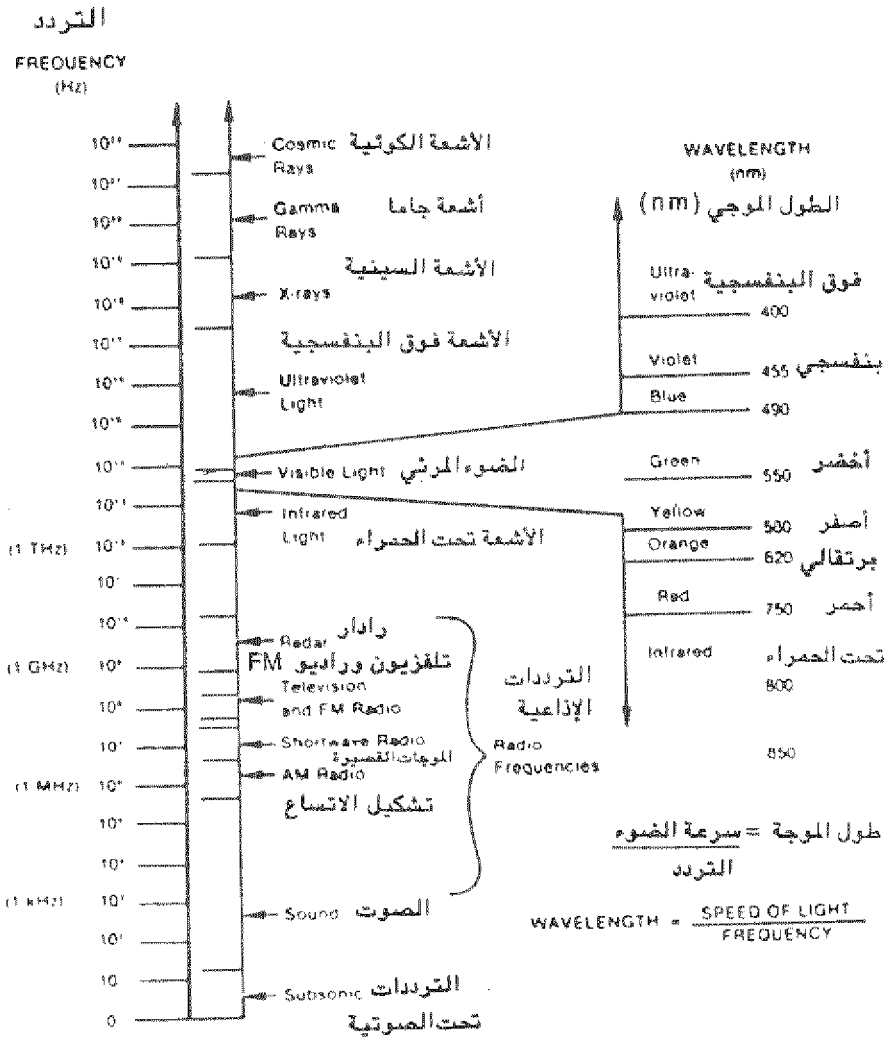
أ - نطاق الترددات البصرية ، ويبدأ هذا النطاق عند حوالي 10^{12} Hz ويمتد حتى يتجاوز 10^{16}Hz ، وينقسم إلى ثلاثة مجالات هي : الأشعة تحت الحمراء infrared ، والضوء المرئي visible ،والأشعة فوق البنفسجية ultraviolet .

ب - نطاق ترددات الأشعة السينية x-rays ، ويقع ضمن نطاق يتوسطه على وجه التقريب التردد 10^{18}Hz .

جـ - نطاق ترددات أشعة جاما gamma - rays ، ويفوق نطاق ترددات الأشعة السينية ويتداخل معه ، ويقع ضمن نطاق ترددات يتوسطه التردد 10^{20}Hz على وجه التقريب .

د - نطاق ترددات فوتونات الأشعة الكونية cosmic ray photons ويتجاوز هذا النطاق نطاق أشعة جاما ويصل إلى أكثر من التردد 10^{32}Hz .

وتجدر الإشارة أخيراً إلى أن ترددات الإتصالات عبر الألياف البصرية ، وترددات الليزر Laser تقع ضمن مجال الترددات البصرية. ولعله من المناسب هنا أن نذكر القارىء الكريم أن الضوء المرئي يشكل جزءاً محدوداً من مجال الترددات البصرية ويقع هذا الجزء بين بداية الضوء الأحمر حيث يبلغ التردد 4.285×10^{14}Hz ، وحتى نهاية الضوء البنفسجي حيث يبلغ التردد 7.5×10^{14}Hz . ونرى في الشكل (١-٢) طيف الترددات الكهرومغناطيسية وموقع الترددات البصرية.



الشكل (١-٢) طيف الترددات الكهرومغناطيسية وموقع الترددات البصرية

١ - ٤ قنوات الإتصال Communication Channels

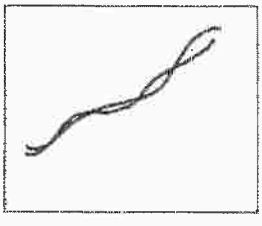
هناك نوعان من قنوات الاتصال إما لاسلكية كالجو وطبقات الأثير والتي يمكن للموجات أن تسير من خلالها والأمثلة على ذلك كثيرة ، منها : البث الإذاعي والتلفزيوني ووصلات الموجات الصغرية وغيرها - والنوع الآخر من القنوات هو السلكي ونرى في الشكل رقم (١-٣) أنواعاً مختلفة منها مثل أسلاك الهاتف والكابلات المحورية ودليل الموجة . وبالرغم من أن القنوات أو الخطوط السلكية تكلفتها أكثر من حيث التصنيع والتركيب والإنشاء من القنوات أو الخطوط اللاسلكية إلا أنها تتمتع بميزات عديدة منها :

١ - خصوصية الإستخدام .

٢ - عدم اعتمادها على الأحوال الجوية .

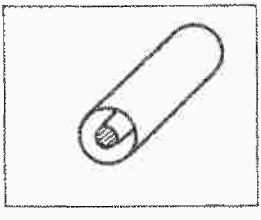
٣ - إمكانية توصيلها داخل أو خارج المباني.

وسنورد فيما يلي شرحاً للخطوط السلكية المستخدمة .



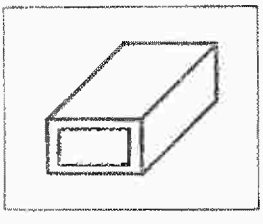
أسلاك مجدولة

(أ)



كابل محوري

(ب)



دليل الموجة

(جـ)

الشكل (١ - ٣) بعض أنواع قنوات الاتصال

١-٤-١ الخطوط السلكية Wire Lines

أ - الكابلات الهاتفية Telephone Cables

استخدمت الأسلاك المعلقة والتي تمتد بين أعمدة الهاتف استخداما واسعاً في الماضي لحملها للمكالمات الهاتفية داخل المدن وخارجها ، ونظراً للصعوبات الجمة التي واجهتها ، والتوسع المستمر في مجال الاتصالات الهاتفية، فقد حلت الكابلات الهاتفية محل الأسلاك المعلقة حيث عزلت الأسلاك عزلاً كهربائيا وقربت المسافة بينها كما وضع العديد منها معاً داخل كابل واحد مما سبب في لغط المكالمات cross talk ولتقليل التداخل بين المكالمات استخدمت الأسلاك المجدولة (الشكل ١-٣ أ) .

هذا وتستخدم أطوال تضفير twist length مختلفة بين الأسلاك المتجاورة لتقليل الحث بينها وتوضع عدة مئات من الأسلاك في كابل واحد داخل أنابيب تحت الأرض وتستخدم مكررات repeaters كل ٤ إلى ٦ كيلومتر حيث توضع في غرف خاصة تحت الأرض تعرف باسم فتحات دخول manholes .

ب - الكابلات المحورية Coaxial Cables

عند إرسال إشارات كهربائية ذات تردد مرتفع عبر الأسلاك فإن معظم التيار الكهربائي يمر خلال الطبقة الخارجية للسلك مستخدماً جزءاً صغيراً من مقطع السلك مما يؤدي إلى زيادة المقاومة الفعلية للسلك ، وتعرف هذه الظاهرة باسم تأثير الجلد skin effect هذا بالإضافة إلى فقدان قدرٍ متزايدٍ من الطاقة بالإشعاع radiation كلما ازداد التردد ، ونظراً للإحتياج المتزايد إلى زيادة سعة الخطوط وإرسال ترددات مرتفعة ظهر الكابل المحوري وهو عبارة عن قشرة اسطوانية من النحاس ويملأ الفراغ بين القشرة الخارجية والسلك الداخلي بمادة عازلة كالبلاستك (الشكل ١-٣ ب) أو الهواء ، وفي حالة استخدام الهواء تستخدم فواصل عازلة بين الإسطوانة الخارجية والسلك كل عدة سنتيمترات ،وتوضع عدة أنابيب من الكابلات المحورية داخل كابل كبير، ويسري التيار

بين السلك الداخلي والقشرة الخارجية التي تمنع الطاقة من التسرب بالإشعاع. وكما تعمل القشرة الخارجية على منع التسرب خارج الكابل فإنها تحول أيضاً دون دخول الإشارات من خارج الكابل ولهذا فإن تداخل المكالمات يقل أو ينعدم في هذه الكابلات كما ينعدم التشويش الخارجي مما يسمح بنقل أعداد كبيرة من المكالمات الهاتفية ، وفي حين أنه يمكننا نقل ١٢ أو ٢٤ مكالمة هاتفية على سلك هاتفي واحد wire pair فإن سعة الكابل المحوري الواحد تبلغ ٣٦٠٠ مكالمة ، وبالرغم من ارتفاع ثمن الكابلات المحورية مقارنة بالأسلاك الهاتفية فإن السعة العالية للكابلات المحورية تبرر هذا الإرتفاع في التكلفة ، والكابلات المحورية ذات السعة العالية يمكنها نقل ١٠٨٠٠ مكالمة هاتفية على كابل واحد، وعادة يوضع ٢٢ منها داخل غطاء واقي اسطواني لتحمل ١٠ أنابيب الإشارات في إتجاه و١٠ أخرى تحمل الإشارات في الاتجاه المعاكس ، ويستخدم الكابلين الآخرين كاحتياط وتبلغ السعة الكلية لمثل هذا الكابل ١٠٨ ألف محادثة هاتفية في الاتجاهين. وبالإضافة إلى هذه السعة العالية تتمتع الكابلات المحورية بالميزات الآتية:-

١ - يقل اللغط cross talk بحيث لايكاد يذكر.

٢ - يقل التشويه في الإشارات والناجم عن تغيير المقدار بتشوه الاتساع amplitude distortion عن مثيله في الأسلاك العادية ويقل أيضاً التشويه الناشيء عن تغير الطور أو عن وصول الإشارات ذات التردد المختلف في لحظات مختلفة والمسمى تشوه التأخر delay distortion عن مثيله في الكابلات الهاتفية.

٣ - يمكن الاستغناء عن معدات تقليل الصدى echo suppressors حيث ينشأ الصدى عن وصول الإشارة المرتده بعد فترة زمنية من وصول الإشارة الأصلية ، ولما كانت سرعة انتشار الإشارات عبر الكابل المحوري تقرب من سرعة الضوء فإن الفارق الزمني بين الإشارة الأصلية والمرتدة يتلاشى تقريبا مقللا التأثير السيء للصدى .

جـ - دليل الموجة Waveguide

دليل الموجة هو أنبوبة نحاسية مفرغة ذات مقطع دائري أو مستطيل أو على شكل مقطع ناقص ellipse ،تسمح بانتقال الموجات الصغرية داخلها . ويستخدم دليل الموجة المستطيل rectangular waveguide (الشكل ١-٣ جـ) في نقل الموجات الصغرية بين أجهزة الراديو والهوائيات في أعلى الأبراج وهي مسافة لاتتعدى عدة مئات من الأمتار ، أما دليل الموجة الدائري circular waveguide فيبلغ قطر مقطعه عدة سنتيمترات ويمكنه إرسال ترددات أعلى بكثير من الدليل المستطيل ، وعموماً فإن مقدار التوهين attenuation في قدرة الموجات المرسلة عبر الدليل يقل مع ازدياد التردد حتى حوالي (100 GHz) .

وبالرغم من قدرة هذا الوسط على نقل إشارات تفوق في عرض نطاقها bandwidth كل الأوساط السابق ذكرها فإن استخدامه لايزال محدوداً حيث أن تكلفة تمديد هذه الأنابيب باهظة للغاية ويرجع السبب إلى ضرورة تمديد الأنابيب بدون انحناءات حادة .

د - الكابلات البحرية Submarine Cables

قبل إطلاق السواتل، والتي سهلت الاتصالات عبر البحار إلى حد بعيد ،كان الاعتماد الأكبر على الكابلات البحرية لنقل الإشارات والمكالمات عبر البحار والمحيطات. والكابلات البحرية هي كابلات محورية ممدودة في قاع البحار والمحيطات روعي في تصميمها وبنائها اعتبارات التحمل الأقصى ضد الصدأ والكسر وكذلك الإقلال من فقدان القدرة power losses وكذلك فإن المكررات repeaters صممت لتتحمل ضغط المياه وتعمل لفترات طويلة دون أعطال حيث أن إصلاحها أو استبدالها يتطلب جهداً كبيراً .

ولقد كان بناء الجيل الأول من هذه الكابلات في منتصف القرن التاسع عشر واقتصر استخدامه على إرسال الإشارات التلغرافية ، وفي عام ١٩٥٦ أمكن إرسال أول مكالمة هاتفية عبر الأطلسي عندما أرسى الكابل الهاتفي الأول مستخدما الصمامات في تكبير الإشارات ، وفي عام ١٩٦٣ أرسى الكابل الهاتفي الثاني مستخدماً الصمامات أيضاً. ولكن وضعت المكررات على مسافات تبلغ ٢٠ ميلاً بحرياً بعكس الكابل الأول والتي بلغت المسافة بين المكررات ٤٠ ميلاً بحرياً تقريباً .

وأمكن نقل ١٤٠مكالمة هاتفية على الكابل الثاني في حين اقتصرت على ٤٨ مكالمة هاتفية في الكابل الأول ، وفي عام ١٩٦٩ استخدم الترانزستور في المكررات وقربت المسافة بينها إلى عشرة أميال بحرية بحيث زاد عدد المكالمات إلي ٨٤٥ مكالمة وازدادت في الجيل الرابع عام ١٩٧٦ إلى ٤٠٠٠ مكالمة هاتفية .

هـ - الألياف البصرية Optical Fibers

وهي ألياف بسمك شعرة الإنسان مصنوعة من الزجاج النقي جداً تسمح بمرور الضوء من خلالها وقد تم تصنيع أول ليف زجاجي قليل الفقد عام ١٩٧٠ وقد أدرك العاملون في مجال الاتصالات أهمية هذه الألياف وقد بدء استعمالها على نطاق واسع لقدرتها الفائقة على نقل المعلومات إذ بلغ معدل نقل المعلومات 2.4Gbps ويسمح هذا بنقل عدد من القنوات التلفزيونية بالإضافة لقنوات المعلومات والقنوات الصوتية كما أن صغر حجمها وقلة وزنها مكن من وضعها ضمن مجارى الخدمات الكهربائية أو بالتوازي مع الخطوط الكهربائية حيث أنها لاتتأثر بالتشويش الكهرومغناطيسي بالإضافة إلى مزايا أخرى سنتطرق إليها في الفصل القادم .

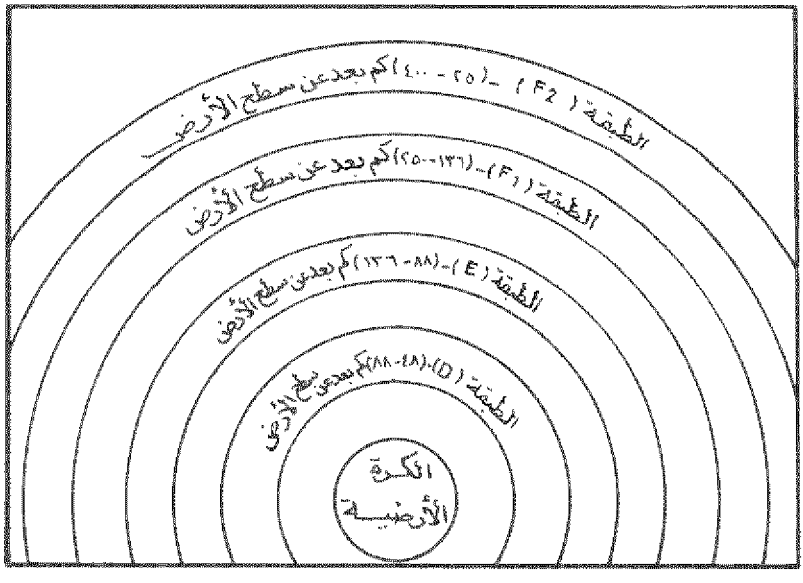
١-٤-٢ القنوات اللاسلكية : Wireless Channels

تستخدم القنوات اللاسلكية المجال الجوي على اختلاف طبقاته لإرسال الترددات المختلفة وينقسم هذا المجال إلى ثلاث طبقات :

أ - الطبقة الإستوائية وتمتد من سطح الكرة الأرضية حتى إرتفاع ١٠كيلومتر من سطح الأرض .

ب - الطبقة الحارة وتبدأ من إرتفاع ١٠ كيلومتر عن سطح الأرض وحتى إرتفاع ٥٠ كيلومتر.

جـ - الطبقة الأيونية F وهي أهم الطبقات الثلاث وهي ناتجة عن التأين الناجم عن سقوط أشعة الشمس عليها وتبدأ من ارتفاع ٥٠ كيلومتر حتى ٤٠٠ كيلومتر . وتتكون من أربع طبقات موضحة بالشكل (١-٤) . تتواجد هذه الطبقات أثناء النهار أما أثناء الليل فتتلاشى الطبقات الدنيا وهيD و Eوتندمج الطبقتين F_1 و F_2 لتكونا طبقة واحدة .

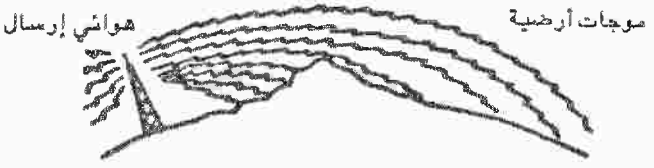


الشكل (١ - ٤) الطبقات الأيونية

١ - ٤ -٣ انواع الموجات اللاسلكية (موجات الراديو)

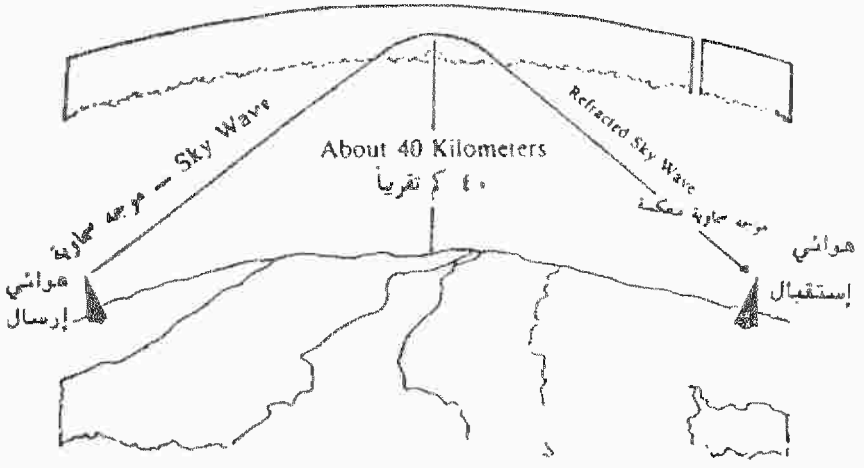
تنتشر الموجات اللاسلكية في الجو بطرق مختلفة تعتمد بالدرجة الأولى على تردد هذه الموجات وتنقسم إلى الآتي :-

أ - الموجات الأرضية وتسير بصورة موازية لسطح الأرض وقد تذهب لمسافات بعيدة بهذه الطريقة . (الشكل (١-٥)) وتشمل الموجات المتوسطة (نطاق الموجات الهكتومترية) ومادونها ، وتستخدم في الإرسال الإذاعي.



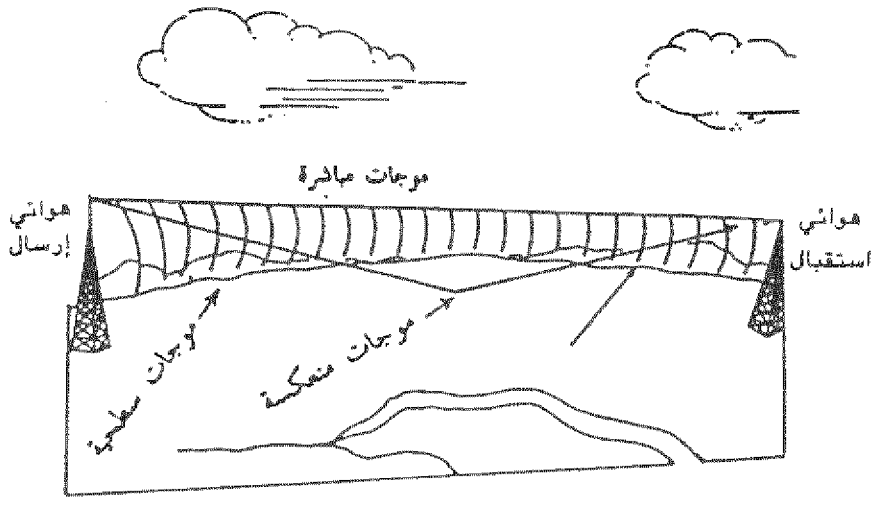
الشكل (١-٥) الموجات الأرضية

ب - الموجات السماوية وتستخدم الطبقة الأيونية لعكس هذه الموجات وتوجيهها للمنطقة المراد إيصال المعلومات لهـــا الشكل (١-٦) وتشمل الموجات القصيرة بين تردد 3MHz و 30MHz (نطاق الموجات الديكامترية).



الشكل (١-٦) الموجات السماوية

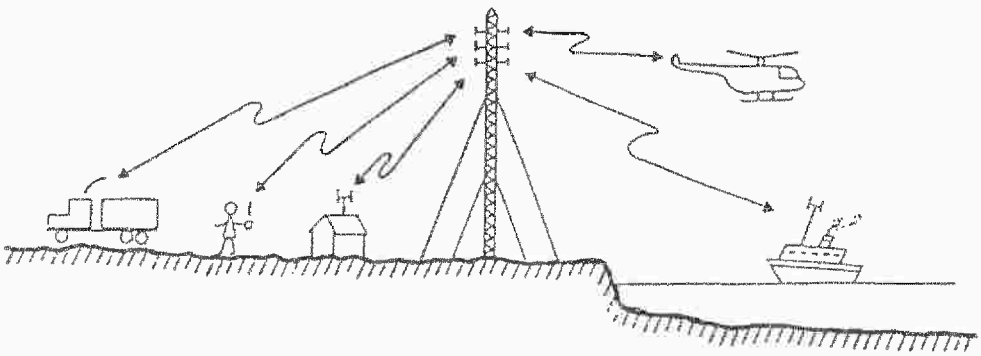
جـ - الموجات المباشرة وتستخدم مدى الرؤيا المباشر بين جهاز الإرسال والإستقبال أو ترسل إلى السواتل التي تقوم بعكس هذه الموجات إلى المناطق المراد إرسال البث إليها كما في الشكل (١-٧).



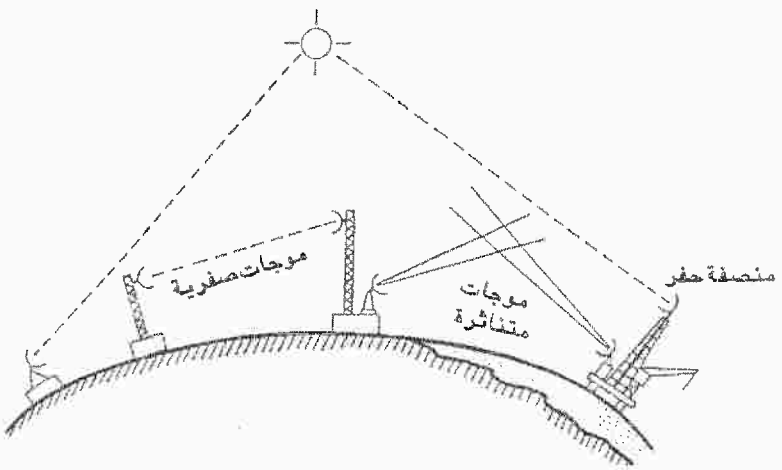
الشكل (١-٧) الموجات المباشرة وترددتها تقع ضمن نطاق الموجات المليمترية.

د - الموجات المتناثرة scattered وتستخدم هذه الموجات الطبقة السفلى من الطبقات الجوية وهي الطبقة الإستوائية كما تستخدم التأين الناتج عن الشهب أو عدم تجانس الطبقات الأيونية وترددتها تقع ضمن نطاق الموجات الديسمترية.

يوضح الشكل (١-٨) الإتصال بين وحدات متحركة ووحدات ثابتة في الجو والبر والبحر. أما الشكل (١-٩) فيرينا طرق الإتصال بإستخدام السواتل ووصلات الموجات الصغرية والموجات المتناثرة.



الشكل (١-٨) الإتصال بين وحدات ثابتة ومتحركة في الجو والبر والبحر



الشكل (١-٩) إستخدام السواتل ووصلات الموجات الصغرية والموجات المتناثرة

١ - ٥ الضوضاء Noise

الضوضاء هي العدو الأول لأنظمة الإتصالات . وتعرّف على أنها الإشارات أو الموجات غير المرغوب فيها التي تنشأ ضمن مختلف عناصر أنظمة الإتصالات لتشارك الإشارة أو الموجة الأصلية signal في مرورها عبر هذه العناصر. وعلى ذلك فإن وجود الضوضاء يعيق استقبال الموجات المطلوبة. وغاية هذا البند هي التعرّف على أنواع الضوضاء ومسبباتها ، ومناقشة أسلوب تقويم مستوى الموجات في أنظمة الإتصالات .

تنقسم الضوضاء إلى نوعين رئيسيين : ضوضاء داخلية internal noise وضوضاء خارجية external noise . ويقصد بالضوضاء الداخلية التأثيرات غير المرغوب فيها الناتجة عن مكونات الدوائر الإلكترونية ، مثل المقاومات وغيرها ، والتي تؤثر على الموجة الأصلية المطلوب نقلها أثناء عبورها ضمن هذه الدوائر. أما الضوضاء الخارجية فهي تلك التي تنشأ عن عناصر خارجية لاتشكل أجزاء من نظام الاتصالات الذي يعمل على نقل الموجة المطلوبة.

وللضوضاء الداخلية أشكال متعددة تنتج عن أسباب مختلفة. لذا يمكن تقسيم هذه الضوضاء إلى أقسام رئيسية على النحو التالي :-

أ - الضوضاء الحرارية thermal noise /ضوضاء جونسون Johnson noise أو ضوضاء نايكويست Nyquist noise وتنشأ بسبب ارتفاع درجة الحرارة temperature في مكونات الدوائر الكهربائية . فإرتفاع درجة الحرارة يزيد الحركة العشوائية للذرات atoms والإلكترونات electrons في المادة . ويؤدي ذلك إلى إشعاع طاقة كهرومغناطيسية تظهر على هيئة جهد ضوضاء noise voltage غير مرغوب فيه. ويقع جهد الضوضاء هذا ضمن مايسمى بالضوضاء البيضاء white noise ، أي التي تشمل جميع الترددات. وتزداد الضوضاء كلما ازداد عرض نطاق ترددات نظام الاتصالات ، ويعبر عن الجهد الناتج عن الضوضاء الحرارية بالمعادلة التالية:

$$Vrms = \sqrt{4k\,TR\,\Delta f} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1.4)$$

حيث أن : k هو ثابت بولتزمان ويساوي $1.38 \times 10^{-23}\ J/\overset{\circ}{k}$

و : T درجة الحرارة المطلقة بالكلفن $(273 + {}^{\circ}C)$

و : R مقدار المقاومة (Ω) المنتجة للضوضاء .

و : Δf هو سعة نطاق الضوضاء الفعلية وتزيد عن عرض نطاق نظام الاتصالات بحوالي 57% أي أن :

$$\Delta f = \frac{\Pi}{2}\Delta f_{3dB} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1.5)$$

والقدرة المبددة في المقاومة R هي :

$$P_N = 4kT\Delta f \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1.6)$$

وإذا أردنا تخفيض الضوضاء الحرارية فعلينا استخدام مقاومات أقل وإن لم يكن ممكناً فيجب استخدام مقاومات لاتتأثر كثيراً بارتفاع درجة الحرارة كالمقاومات المصنوعة من الزجاج أو الرقائق المعدنية metal - film materiels واستخدام كواشف ذات مقاومة قليلة .

نلاحظ أيضاً من معادلة جهد الضوضاء الحرارية أن هذه الضوضاء تعتمد على المقاومة وعرض النطاق الفعلي ودرجة الحرارة .

ب - ضوضاء الطلقه Shot Noise

وتسمى أيضاً ضوضاء شوتكي Schottky noise أو ضوضاء شروت Shrot niose أو ضوضاء التقسيم partition noise ، وتنتج عن تغير تيار التغذية الكهربائية في الوقت الذي يفترض بهذا التيار أن يكون ثابتاً وكما هو الحال بالنسبة للضوضاء الحرارية فإن ضوضاء الطلقة هي أيضاً ضوضاء بيضاء. وتولد هذه الضوضاء تياراً ثابتاً يعبر عنه بالمعادلة التالية :

$$Irms = \sqrt{2\,q\,I_{DC}\,\Delta f} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1.7)$$

حيث أن q هي شحنة الإلكترون وقيمتها 1.6×10^{-19} C والتيار I_{DC} هو تيار التغذية للدائرة أو الجهاز الإلكتروني و Δf عرض النطاق الفعلي .

جـ - أشكال أخرى من الضوضاء الداخلية

توجد أنواع كثيرة من الضوضاء مثل ضوضاء الازيز hum noise الناتجة من قصور التصفية filtering في دائرة التغذية الكهربائية . وكذلك ضوضاء زمن التحول transit time التي تنشأ عن عدم تماثل زمن حركة الإلكترونات بين أطراف دائرة كهربائية مع دور الموجة المطلوبة التي تعبر الدائرة والضوضاء الناتجة عن الحقول المغناطيسية magnetic fields لمحولات الربط coupling transformers في المضخمات amplifiers ، وغير ذلك من أنواع الضوضاء الداخلية.

ننتقل الآن إلى موضوع الضوضاء الخارجية التي تنتج أيضاً عن أسباب مختلفة، وسوف نستعرض فيما يلي التقسيمات الرئيسية لمثل هذه الضوضاء :

أ - الضوضاء الجوية atmospheric noise ، وينتج عن الموجات التي يجرى توليدها بواسطة تفريغات الشحنة الكهربائية التي تحدث ضمن المجال الجوي الأرضي من خلال العواصف الرعدية thunder storms. وتتناسب قيمة مثل هذه الموجات عكسياً مع التردد ،وتقع ضمن نطاق الترددات الواقع ماقبل التـــردد 20MHz . ونظراً لأن هذه الضوضاء تنطلق بشكل مفاجيء ولفترات زمنية صغيرة ، فهي توصف بأنها ضوضاء نبضية impulsive. ويعاني البث الإذاعي المعتاد الذي يستخدم تشكيل الاتساع amplitude modulation:A.M. ضمن مجالات التردد الواقعة بين 550kHz و 1.6MHz من هذه الضوضاء أكثر مما يعاني منها البث الإذاعي الذي يستخدم

تشكيل التردد frequency modulation F.M. وكذلك البث التلفزيوني لأنهما يعملان ضمن مجالات تردد تفوق التردد 50MHz .

ب - الضوضاء الناتجة عن المنشآت التي أقامها الأنسان man - made noise . فهناك في كثير من منشآت التقنية الحديثة التي يستخدمها إنسان هذا العصر مصادر تعمل على توليد أمراج كهربائية جانبية تودي إلى حدوث ضوضاء على الموجات التي تبثها أنظمة الإتصالات . ومن مصادر الضوضاء هذه خطوط الجهد العالي لنقل الطاقة الكهربائية high-voltage power lines ، والمحركات الكهربائية electrical motors ، وكذلك أنظمة الإتصالات الأخرى التي كثيراً ماتتداخل ترددا تها مع ترددات موجات الإتصالات المطلوبة. وبالإضافة إلى ماسبق فإن السيارات والطائرات وكثير من المرحلات relays ودوائر التبديل switching في الأنظمة المختلفة تطلق عند تشغيلها ضوضاءً على هيئة شرارات كهربائية ، وتدخل هذه الضوضاء ضمن نطاق مايوصف بالضوضاء النبضية.

جـ - الضوضاء الناتجة عن مصادر تقع خارج جو الأرض extraterrestrial noise sources ، مثل الشمس والنجوم . فهذه المصادر تبث ، بسبب طاقاتها الحرارية الهائلة قدرة تمتد من وجهة نظر التردد على مدى نطاق واسع من الترددات التي تتراوح مابين بضعة ميجاهرتزMHz إلى بضعة جيجاهرتز GHz.

د - ومن أسباب ظهور الإشارات أو الموجات غير المرغوب فيها في القنوات اللاسلكية مسألة تعدد مسارات الإرسال multiple transmission paths التي تتعرض لها الموجة المرسلة. وينشأ هذا التعدد عادة من إنعكاسات الموجة على التلال أو الأبنية والطائرات وما إلى ذلك . ويؤدي هذا الإنعكاس إلى وصول الموجة المطلوبة إلى المستقبل من إتجاهات متعددة وقيم مختلفة وأوقات متفاوتة

مما يودي إلى الأثر غير المرغوب .

بعد أن استعرضنا الأنواع المختلفة من الضوضاء الداخلية والضوضاء الخارجية نود الإشارة إلى أنه كثيراً مايجري قياس أداء أنظمة الإتصالات بواسطة عامل يدعى نسبة الإشارة إلى الضوضاء signal-to-noise ratio وتقدر هذه النسبة عادة بوحدة تدعى الديسيبل decibel.

١-٦ معلّمات انظمة الإتصالات Communication Systems Parameters

١-٦-١ الديسيبل Decibel

تستخدم هذه الوحدة أساساً في حساب نسبة قدرة موجتين فإذا كانت هاتان الموجتان هما موجة مدخل وموجة مخرج لنظام معين فإن النسبة بينهما تعطي الكسب gain أو الفقد أو الخسارة loss في النظام. وإذا كانت هاتان الموجتان هما موجة أصلية وموجة ضوضاء فإن النسبة بينهما تحدد مدى امكان استخراج الموجة الأصلية وتلقي ماتحتويه من معلومات وللتعريف بالديسيبل ويرمز له بالرمز dB نفرض أن لدينا موجتان Vs (t) و Vn (t) ، قدرة الأولى منهما Ps وقدرة الثانية Pn، عندئذ تعطي نسبة هاتين القدرتين مقدرة بالديسيبل على النحو التالي :

$$(\text{Ratio})\ dB = 10\ \text{Log}_{10}\frac{Ps}{Pn} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ (1.8)$$

ويبين الجدول (١-٤) مقارنة بين نسبة قدرتين عند حسابها كنسبة حسابية معتادة وكذلك عند حسابها مقدرة بالديسيبل.

الجدول (١-٤) قيم نسبة القدرة لموجتين بالحساب المعتاد
وما يكافئها بالديسيبل

(Ps /Pn)	(Ps / Pn) [dB]	(Pn/Ps)	(Pn / Ps) [dB]
10	10	0.1	- 10
100	20	0.01	- 20
1000	30	0.0001	- 30
10000	40	0.0001	- 40
100000	50	0.00001	- 50
1000000	60	0.000001	- 60

١-٦-٢ وحدات مشتقة من الديسبل

١ - وحدات dBm

تطرقنا إلى وحدة الديسيبل للتعبير عن نسبة بين مقدارين غير أن المستخدم لنظم الاتصالات يحتاج لمعرفة قيم يستطيع من خلالها التعرف على النظام ومن الوحدات الشائعة هي وحدة dBm المستخدمة كثيراً في نظم الاتصالات البصرية وهي مقياس لنسبة القدرة مقارنة لواحد مللي وات ($\frac{١}{١٠٠٠}$ وات) وعندما يعبر عن 1mw يشار إليه بأنه odBm ويعبر عن dBm بالمعادلة التالية :

$$\text{Power (dBm)} = 10 \text{ Log } \frac{\text{Power (mw)}}{1 \text{ mw}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1.9)$$

فمثلاً لو أن قدرة المخرج هي 20 w فإن قدرة المخرج بمقياس dBm يعبر عنها بالآتي:-

$$\text{Power (dBm)} = 10 \text{ Log } \frac{20w}{1mw}$$

$$= +43 \text{ dBm}$$

وإشارة + تعني مستوى قدرة الإشارة فوق مستوى المرجع وهو odBm ، أما إذا كانت قدرة المخرج هي 0004w. فإن قدرة المخرج بمقياس dBm هي :

$$\text{Power (dBm)} = 10 \text{ Log } \frac{\text{Power (w)}}{1 \text{ mw}}$$

$$= -4 \text{ dBm}$$

وإشارة - تعني أن مستوى الإشارة أقل من OdBm أو 1mw .

ب - وحدات dBw

وتستخدم كثيراً في أنظمة الموجات الصغرية وتعرف بالديسيبل مقارنة بقدرة 1w وتستخدم المعادلة التالية :

$$\text{Power level (dBw)} = 10 \text{ Log } \frac{\text{Power (w)}}{1 \text{ w}} \quad \text{..... (1.10)}$$

فمثلاً لو أن مقدار قدرة المخرج هي 100W فإن ذلك يعبر عنه بالآتي :-

$$\text{Power level (dBw)} = 10 \text{ Log } \frac{100w}{1 \text{ w}}$$

$$= +20 \text{ dBW}$$

والجدول (١-٥) يعطينا العلاقة بين الوحدات المختلفة آنفة الذكر وقيم القدرات الفعلية .

dBm	dBW	Watts	dBm	dBw	Milliwatts
+ 66	+ 36	4000	+ 30	0	1000
+ 36	+ 33	2000	+ 27	- 3	500
+ 60	+ 30	1000	+ 23	- 7	200
+ 57	+ 27	500	+ 20	- 10	100
+ 50	+ 20	100	+ 17	- 13	50
+ 47	+ 17	50	+ 13	- 17	20
+ 43	+ 13	20	+ 10	- 20	10
+ 40	+ 10	10	+ 7	- 23	5
+ 37	+ 7	5	+ 6	- 24	4
+ 33	+ 3	2	+ 3	- 27	2
+ 30	0	1	0	- 30	1
			- 3	- 33	0.5
			- 6	- 36	0.25
			- 7	- 37	0.20
			- 10	- 40	0.1

الجدول (١ - ٥)

قيم القدرة ومايكافئها بـ dBw و dBm

١-٦-٣ نسبة الإشارة إلى الضوضاء ورقم الضوضاء

Signal to Noise Ratio (SNR) and Noise Figure (NF)

يعبر عن نسبة الإشارة إلى الضوضاء بالمعادلة التالية :

$$(S/N)_{dB} = 10\ Log_{10}\left(\frac{P_S}{P_n}\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ (1.11)$$

حيث أن مقدار القدرة في الإشارة هو P_S ومقدار القدرة في الضوضاء هو P_n أما إذا

استخدمنا الجهد فإن :

$$(S/N)_{dB} = 20\ Log_{10}\left(\frac{V_S}{V_n}\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ (1.12)$$

كذلك يعبر عن مقدار الضوضاء بمقياس آخر وهو رقم الضوضاء Noise Figure (NF) والذي يمثل نسبة الإشارة - إلى - الضوضاء في مدخل الدائرة إلى الإشارة - إلى - الضوضاء في مخرج الدائرة ويعبر عنه بالديسيبل بالمعادلة التالية :

$$NF = 10\ Log_{10}\left[\frac{(S/N)\ input}{(S/N)\ output}\right] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ (1.13)$$

or

$$(NF)\ dB = (S/N\ input)\ dB - (S/N\ output)\ dB. \quad (1.14)$$

١-٦-٤ عرض النطاق Bandwidth

يعرف عرض النطاق على أنه المدى range بين أقل تردد وأعلى تردد يستجيب له النظام ففي المضخمات والمرشحات يُعرف بأنه المدى بين نقطتي منتصف القدرة 3dB ولكل نظام من نظم الاتصالات عرض نطاق محدد ، فالقناة الصوتية تحتاج إلى عرض نطاق 4 kHz والنظام التلفزيوني عرض نطاقه 6 MHz وفي الجدول (١-٦) عرض نطاق بعض الأنظمة .

نوع الرسالة	عرض النطاق	ملاحظـــــات
صوت	4 kHz	قناه هاتفية مفردة
موسيقى	10 kHz	محطة إذاعة راديو AM
موسيقى	200 kHz	محطة إذاعة راديو FM
تلفزيون	6 MHz	محطة إذاعة تلفزيونية

الجدول (١ - ٦) عرض نطاق بعض الأنظمة

من هذا الجدول يتضح لنا أن إرسال قناة تلفزيونية واحدة يحتاج إلى عرض نطاق كبير مقارنة بما تحتاجه القناة الهاتفية . لذا فقد تم البحث عن قنوات إتصال قادرة على استيعاب عدة قنوات تلفزيونية إضافة إلى القنوات الصوتية والمعلوماتية ، واستخدمت الأنظمة الرقمية لإرسال الرسائل المختلفة ، لذا كان لزاماً تحويل الإشارات التماثلية إلى إشارات رقمية وهناك قواعد تحكم هذا التحويل يعتمد على معدل العينات وعلى نظام الترميز . فإذا أردنا إرسال رسالة تماثلية فإن معدل العينات يجب أن يساوي على الأقل ضعف أعلى تردد تحويه الإشارة ، فالقناة الهاتفية التي عرض نطاقها 4 kHz تحتاج إلى ٨٠٠٠ عينة بالثانية، وتستخدم إجراءات الترميز ثمانية بتات Bits لوصف اتساع كل عينة لذلك نحتاج لإرسال 64 kbps من أجل رسالة هاتفية واحدة ولو أرسلنا نبضات بمعدل أعلى من 64 kbps لأمكن إرسال عدة رسائل في آن واحد . وهناك طرق مختلفة للإرسال ومزج الرسائل المختلفة باستخدام بتات تزامن وبتات ترميز . وتضاف عناصر لنظام الاتصالات لضم الإشارات الرقمية عند الإرسال وفصلها عند الاستقبال وقد استخدمت أنظمة رقمية معيارية متعددة في الولايات المتحدة وأوروبا وفي الجدول رقم (١-٧) التسلسل الهرمي للنظام الرقمي المستخدم في الولايات المتحدة .

عدد القنوات الصوتية	دلالة الإرسال	دلالة الإشارة	معدل المعلومات
1	-	DS - 0	64 kbps
24	T1	DS - 1	1.544 Mbps
48	T1C	DS - 1c	3.152 Mbps
96	T2	DS - 2	6.312 Mbps
672	T3	DS - 3	44.736 Mbps
1344	T3C	Ds - 3c	91.053 Mbps
4032	T4	DS - 4	474.175 Nbps
6048	-	-	405 Mbps
8064	-	-	565 Mbps
16128	-	-	1.2 Gbps

الجدول رقم (١- ٧) التسلسل الهرمي الرقمي للنظام المستخدم في أمريكا

نلاحظ من الجدول (١-٧) أن سعة نطاق القنوات في ازدياد مستمر لتلبية الطلبات المتنامية على أنظمة الاتصالات المختلفة ، وهناك خطوات لإنشاء قنوات بسعة 2.4Gbps وأكثر مستخدمين الألياف البصرية . مما سبق تتضح العلاقة بين عرض النطاق ونوع الرسالة والتي تحدد نوع شبكة الاتصالات. والسعة التي تتميز بها شبكات الاتصالات البصرية أدت إلى زيادة الطلب عليها واستبدال بعض شبكات الكابلات المحورية والأسلاك الهاتفية بألياف بصرية مصنوعة من الزجاج .

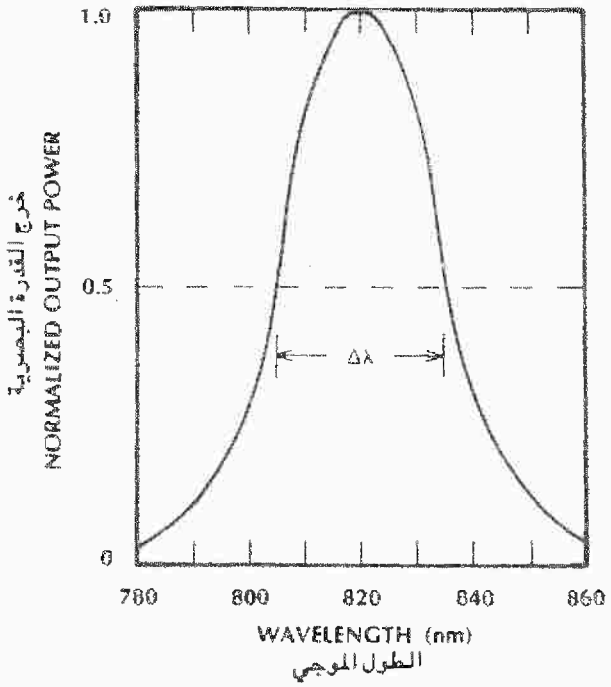
وفي الجدول (١-٨) نرى مقارنة بين الأنظمة الرقمية المستخدمة في أوروبا والولايات المتحدة واليابان .

	معدل المعلومات Mbps					
أوروبا	2 -	8 -	34 -	140 -	565 -	
الولايات المتحدة	1.5 -	6 -	- - 45	135 -	405 565	
اليابان	1.5 -	6 -	32 - -	100 -	400 -	

الجدول (١-٨) مقارنة بين النظم المعيارية في أوروبا والولايات المتحدة واليابان

١-٦-٥ عرض الخط اوعرض الطيف Linewidth or Spectral width

تبث المنابع الضوئية المستخدمة في أنظمة البصريات الليفية الضوء في نطاق من الترددات أي أنها ليست أحادية اللون وبتعبير آخر فإن هذه المنابع تبث عدداً من الأطوال الموجية ويعرف عرض الخط أو عرض طيف الطاقة الضوئية المنبعثة من المنبع الضوئي بأنه العرض مقاساً بالأطوال الموجية بين نقطتين تنخفض فيهما القدرة الضوئية إلى نصف القدرة القصوى.



الشكل (١-١٠) طيف ثنائي باعث ضوئي

ونرى في الشكل (١-١٠) أن أقصى قيمة للقدرة عند $\lambda_o = 820$ nm وتنخفض إلى نصف قيمتها عند $\lambda_1 = 810$ nm و $\lambda_2 = 830$ nm . لذا فإن عرض الخط هو 830-810 = 20 nm ويستخدم الرمز $\Delta\lambda$ لعرض الخط أو الطيف حيث تعادل عرض النطاق Δf . ويمكن التعبير عن Δf بدلالة عرض الخط $\Delta\lambda$ كالآتي:

$$\Delta f = \left(\frac{\Delta\lambda}{\lambda o} \right) fo \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1.15)$$

حيث fo هو التردد المركزي و λ_o هو طول الموجة المركزية و $\Delta f = f_2 - f_1$ ، f_1 و f_2 يمثلان ترددات نصف القدرة half-power للمنبع الضوئي. ولعرض خط المنبع الضوئي تأثيرات هامة على إنجاز نظم الاتصالات البصرية ، حيث أن ازدياد عرض الخط يودي إلى إثارة عدد كبير من الانماط لنفس فتحة النفوذ العددية NA ويقلل من الحد الأقصى من معدل نقل المعلومات للنظام ، وفي الجدول (١-٩) قائمة بعروض خط نموذجية لمنابع ضوئية شائعة .

المنبع	عرض الخط $\Delta\lambda$
ثنائي باعث للضوء LED	20-100nm
ثنائي ليزر LD	1 - 5 nm
ليزر Nd:YAG	0.1 nm
ليزر HeNe	0.002nm

الجدول رقم (١ - ٩) عروض خط منابع ضوئية

١-٦-٦ التوهين Attenuation

يعتبر التوهين أحد العناصر الأساسية في تقويم أنظمة الاتصالات حيث تتعرض الموجات الحاملة للوهن عند انتشارها في قناة الاتصال نتيجة عوامل عديدة كالامتصاص asbsorption والتناثر scattering ويجب استخدام قنوات اتصال بأقل توهين ممكن حتى تنتشر الموجات الحاملة لأطول مسافة ممكنة. وفي قنوات الاتصال المصنعة من الألياف البصرية ، يلعب التوهين دوراً أساسياً في اختيار الليف ،وفقد الضوء في الليف البصري يعتمد إلى حد كبير على الطول الموجي للضوء المستخدم حيث يقل عند بعض الأطوال الموجية ويزيد عند أطوال موجية أخرى ،حيث أن امتصاص جزيئات (OH) للضوء يزداد عند بعض الأطوال الموجية ويقل عند أطوال موجية أخرى، حيث أن امتصاص جزيئات (OH) للضوء يزداد مثلاً عند $\lambda = 1.39\ \mu m$ وتقاس قيم التوهين لليف البصري بوحدة الديسيبل لتعبر عن النسبة بين الطاقة الضوئية المستقبلة والطاقة الضوئية المرسلة في الليف .

١-٦-٧ فتحة النفوذ العددية Numerical Aperture

يتطلب اقتران الضوء في الليف البصري وقوع الشعاع ضمن زاوية معينة تدعى زاوية القبول θ ويعبر عن قدرة تجميع الضوء بجيب زاوية القبول والذي يطلق عليه فتحة النفوذ العددية ويعبر عنها رياضياً بالتالي :

$$\text{Numerical Aperture} = n_o \sin\theta \quad \ldots\ldots\ldots (1.16)$$

حيث n_o تمثل معامل انكسار الوسط الفاصل بين منبع الضوء والليف وسنقدم شرحاً أكثر في البند ٣ - ٧.

١- ٧ جداول الثوابت والوحدات Tables of Constants and Units

قبل أن نختتم هذا الفصل لابد من ذكر كافة الثوابت والوحدات المستخدمة في هذا الكتاب إذ سنعتمد وحدات نظام MKSC (متر - كيلو - ثانية - كولومب) الذي يفي بمعظم متطلبات الألياف البصرية . وبالإضافة إلى ذلك سنذكر بعض الثوابت الفيزيائية المهمة في دراسة نظم إتصالات الألياف البصرية . يحتوي الجدول (١-١٠) على قائمة بالوحدات المستخدمة وفي الجدول (١-١١) نذكر الثوابت المستخدمة ويحتوي الجدول (١-١٢) على معلمات الكميات الصغيرة والكبيرة .

الجدول (١ - ١٠) الوحدات المستخدمة

الوحدة	الرمز	القياس
متر	m	طول
كيلو غرام	kg	كتلة
ثانية	s	زمن
كولومب	C	شحنة
جول	J	طاقة
وات	W	قدرة
هرتز	Hz	تردد
نيوتن	N	قوة
أمبير	A	تيار
درجة كلفن	°k	درجة حرارة
درجة مئوية	°C	درجة حرارة
فاراد	F	سعة
أوم	Ω	مقاومة
ڤولت	V	جهد
ديسيبل	dB	نسبة

الجدول (١-١١) ثوابت فيزيائية

الوصف	القيمة	الرمز
سرعة الضوء	3×10^{8} m/s	c
ثابت بلانك	6.626×10^{-34} J × s	h
شحنة الالكترون	-1.6×10^{-19} C	q
ثابت بولتزمان	1.38×10^{-23} J / °k	k

الجدول (١ - ١٢) مَعلّمات الكميات الكبيرة والصغيرة

عامل الضرب	الرمز	السابقة
10^{9}	G	Giga
10^{6}	M	Mega
10^{3}	k	Kilo
10^{-2}	cm	Centi
10^{-3}	mm	Milli
10^{-6}	μ	Micro
10^{-9}	n	Nano
10^{-12}	P	Pico
10^{-15}	f	Femto

١-١٠ الخلاصـــة Summary

قدمنا في هذا الفصل عرضاً مبسطاً لهندسة الاتصالات مبتدئين بشرح لمفهوم الاتصالات واعتمادها على ثلاثة عناصر أساسية وهي السرعة والمدى وكمية المعلومات المراد نقلها وقد وجد أن وسائل الاتصالات القديمة تفتقر إلى أحد أو كل العناصر الثلاثة آنفة الذكر غير أن البحث عن وسائل اتصال أفضل استمر على مدى العصور وقد أدى وضع أوم لقانونه الشهير عام ١٨٢٦ إلى فتح المجال لاكتشاف الكهرباء والمغناطيسية ، وقد استمرت الاكتشافات عبر الأزمنة إلى فتح مجالات عديدة في الاتصالات الكهربائية، وقد وجد أن طيف الموجات الكهرومغناطسية يمتد من الترددات المنخفضة للغاية وحتى ترددات الأشعة الكونية ولكل مجال من هذه الموجات صفات تتميز بها ، ولكي نتعرف على توليد وإرسال واستقبال هذه الموجات لابد من دراسة العناصر الأساسية لأنظمة الاتصالات والتي تمت تغطيتها في هذا الفصل . وهنا لابد من التعرف على أنواع القنوات السلكية واللاسلكية وميزاتها ومداها . و قلما تخلو أنظمة الاتصالات من مشاكل الضوضاء أو اللغط cross talk التي تؤثر على نوعية الإشارات المنقولة وقد أفردنا بنداً خاصاً لمناقشة الأنواع المختلفة من الضوضاء ،وقد إختتمنا الفصل بتعريف بعض الوحدات المستخدمة في أنظمة الاتصالات مثل الديسيبل ونسبة الإشارة إلى الضوضاء وعرض النطاق وسعة القناة كما أوضحنا بعض الثوابت والوحدات المستخدمة في هذا الكتاب .

الفصل الأول

أسئلة

١ - عرف معنى الاتصالات واذكر العناصر الرئيسية لتكوين وصلة اتصالات.

٢ - يعتبر الضوء ضمن الموجات الكهرومغناطيسية ، أذكر أربعة أنواع أخرى من الموجات الكهرومغناطيسية مع ذكر تردداتها وأطوالها الموجية واستخداماتها.

٣ - أذكر ثلاثة أنواع من الاتصالات السلكية واستخداماتها.

٤ - أذكر أربعة أنواع من الموجات اللاسلكية واذكراستخداماتها.

٥ - ماهي أنواع الضوضاء وماتأثيرها على قنوات الاتصال.

٦ - ماالفرق بين الموجات التماثلية والموجات الرقمية.

٧ - لماذا تستخدم الموجات الحاملة ؟

٨ - ما الهدف من التشكيل؟

٩ - مامدى الترددات التي يمكن للأذن البشرية سماعها.

١٠- ماالأطوال الموجية التي يمكن للعين البشرية أن تراها.

مسائل

١ - أحسب الأطوال الموجية λ بالامتار.

أ - موجية صوتية بتردد 4kHz.

ب - قناة تلفزيونية بتردد 605 MHz .

جـ - موجة تحت الحمراء بتردد 1000 GHz.

د - اللون الأصفر بتردد 0.5×10^{15} Hz

٢ - أوجد الجهد الناتج عن الضوضاء الحرارية في مقاومة مقدارها 1kΩ ودرجة حرارة $70\ ^{\circ}F$ وعرض نطاق الضوضاء 1MHz.

٣ - أوجد قدرة الضوضاء الناتجة في مقاومة مقدارها 2.2kΩ ودرجة حرارة $85\ ^{\circ}F$

وعرض نطاق الضوضاء 500kHz .

٤ - إذا كان التيار المستمر I_{DC} = 8mA يمر في مقاومة مقدارها 220 Ω أوجد مقدار تيار الطلقة Irms إذا كان عرض النطاق 100kHz .

٥ - أوجد مقدار جهد الضوضاء والقدرة المبددة في المقاومة المذكورة في السؤال رقم٤ .

٦ - إذا كان لدينا مضخم فيه إشارة دخل 35 μv ومستوى ضوضاء 9 μv . أوجد قيمة الإشارة إلى الضوضاء بالديسيبل.

٧ - أوجد نسبة الإشارة إلى الضوضاء بالديسيبل إذا كانت قدرة الإشارة 20 μw وقدرة الضوضاء 40 nw .

٨ - أوجد قيمة قدرة الضوضاء إذا كانت نسبة الإشارة إلى الضوضاء تساوي 15 dB وقدرة الإشارة تساوي 15 pw .

٩ - أوجد رقم الضوضاء لمضخم فيه نسبة الإشارة إلى الضوضاء في الدخل تساوي 21dB ونسبة الإشارة إلى الضوضاء في الخرج تساوي 6dB .

١٠- أوجد مستوى القدرات التالية محسوبة بـ dBm و dBw : 230 μw , 170nw , 0003 w , 150mw , 250 w و 1.2w .

١١ - أوجد قيمة Δf لمنبع عرض خطه 2 % وطول موجته 1.3 μm .

الفصل الثاني

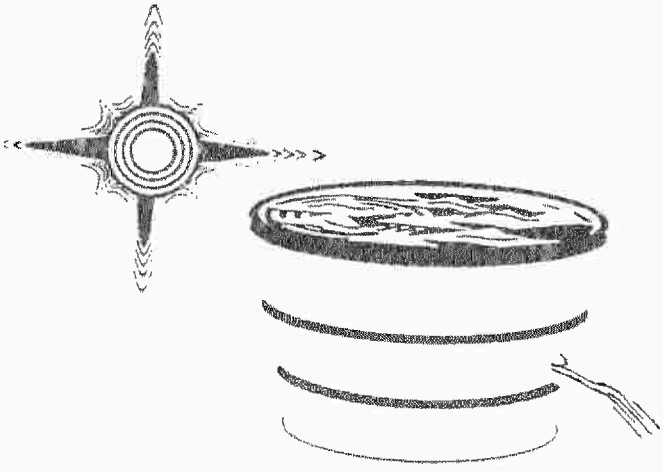
أهمية الألياف البصرية

الفصل الثاني
اهمية الألياف البصرية
The Importance of Optical Fibers

نبدأ هذا الفصل بلمحة تاريخية عن تطور الاتصالات البصرية ثم شرح لعناصر أنظمة الاتصال عبر الألياف البصرية في الإرسال والاستقبال ودور الليف البصري كقناة اتصال ثم نقوم بعد ذلك باستعراض أنواع الألياف البصرية المستخدمة حالياً ، يأتي بعدها شرح لميزات الألياف البصرية واستخداماتها المختلفة ، ونختتم هذا الفصل بالتوقعات المستقبلية للبصريات الليفية .

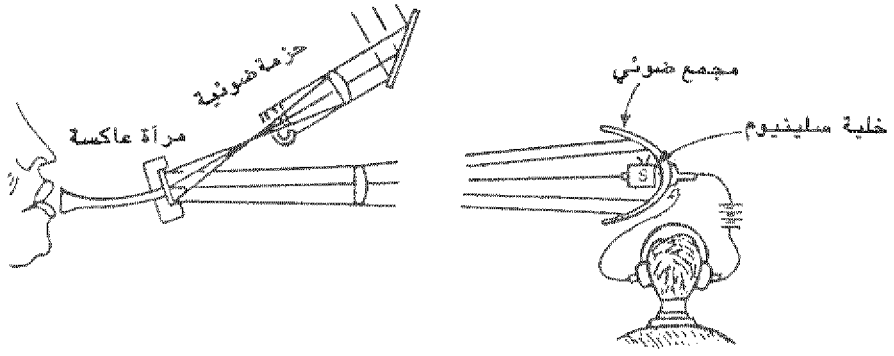
٢ - ١ تطور الاتصالات البصرية
Development of optical communicotions

استخدمت الإشارات الضوئية لنقل المعلومات قبل حوالي ٢٠٠ سنة إذ قام كلود شابي Claude Chappe عام ١٧٩٠ في فرنسا ببناء نظام تلغراف بصري مكون من مجموعة أبراج تحتوي على أذرعة ضوئية متحركة ، وقد استخدمت لنقل المعلومات لمسافة ٢٠٠ كيلومتر ويستغرق نقل المعلومة ١٥ دقيقة ، وأوقف استخدامه بعد اكتشاف التلغراف البصري . وفي عام ١٨٥٤ قام الفيزيائي الإنجليزي جون تايندل John Tyndall بإجراء تجربة تثبت إمكانية ثني الضوء وتوجيهه إذا وجد الوسط المناسب واستخدم لذلك وعاءً مدرجاً مملوءاً بالماء معرض أعلاه لأشعة الشمس وبه ثقب في أسفله يقع تحت سطح الطاولة المركب عليها الوعاء كما في الشكل (٢-١) ، ووجد أن الضوء أخذ شكل مسار الماء الخارج من الفتحة ، وفي هذه التجربة أثبت إمكانية حصر الضوء ضمن الوسط المادي وهو الماء في هذه الحالة وكذلك إمكانية ثنيه لأن الماء يتدفق بشكل منحني ، وتعد هذه أول تجربة بصرية .



الشكل (٢-١) صورة لتجربة جون تايندل عن إمكانية
ثني الضوء وتوجيهه في وسط مادي

في عام ١٨٨٠ تمكن ألكسندر جراهام بل Alexander Graham Bell في أمريكا من تطوير هاتف ضوئي (الشكل (٢-٢)) حيث قام بتوصيل مرآة عاكسة للضوء بميكروفون وأسقط شعاعاً ضوئياً على تلك المرآة وعند استخدام الميكروفون تبدأ المرآة بالاهتزاز وبذلك تتغير شدة الضوء المنعكس من المرآة ، وعلى الجانب الآخر يتم استلام الشعاع الصادر من المرآة بواسطة مرآة أخرى تقوم باسقاط الضوء على مادة السلينيوم التي تتغير مقاومتها بتغير شدة الإضاءة التي تعبر عن المعلومات والإشارات المشكلّة في الضوء المرسل غير أن هذه الفكرة لم تجد استخداماً عملياً لتأثرها بالأحوال الجوية ومدى الرؤية .



الشكل (٢-٢) رسم توضيحي لأول هاتف بصري لنقل الإشارات بالطاقة الضوئية

وفي عام ١٩٣٤ تمكن الأمريكي نورمان ر.فرنش من استلام براءة اختراع لهاتف بصري يقوم بإرسال إشارات صوتية مستخدماً كابل بصري حيث يصنع الكابل من الزجاج أو أي مادة تنقل الضوء وفقدانها قليل كما أن الطول الموجي ملائم للمادة المصنع منها الكابل ولم يتم إدراك هذه الفكرة عملياً إلا بعد ٢٥ سنة كانت بدايتها عام ١٩٥٨م عندما قام كلٌ من آرثر شاولو Arthur Schawlow وتشارلز تاونز C.Townes الأمريكيي الجنسية بتطوير جهاز الليزر وحازا على جائزة نوبل لهذا الاختراع وتمكن ثيودور هـ. ميمان T.H.Maiman الأمريكي الجنسية من تشغيل أول جهاز ليزر مصنوع من الياقوت عام ١٩٦٠ . وفي عام ١٩٦٢ أُدرك إمكانية تصنيع ليزر وكواشف ضوئية مصنوعة من أشباه الموصلات وبهذين الحدثين توفر المرسل والمستقبل ولم يبقى إلا إيجاد الوسط الناقل بينهما ، وفي بداية الأمر أجريت محاولات عديدة لإستخدام دليل موجي بمرايا عاكسه ونظام عدسات معقد ولم تلق هذه الفكرة النجاح لأنها لم تكن عملية ولم يكن استخدام الألياف البصرية ممكناً آنذاك نظراً لتوهينها العالي للضوء ، وهو 1000dB/km . وفي عام ١٩٦٦ اقترح كل من تشارلز هـ. كاو

Charles H.Kao وجورج أ. هوكام George A. Hockam من بريطانيا استخدام ألياف زجاجية فقدانها قليل وبالفعل تمكنت شركة كورننج للزجاج Corning Glass Works عام ١٩٧٠ من تطوير ألياف زجاجية يقل توهينها عن 20dB/km ، ويعتبر هذا سبقاً كبيراً في هذا المجال وأعطى ذلك فرصة كبيرة لاستخدامها في مجال الاتصالات وعلى نطاق واسع في شتى أنحاء العالم وسنتحدث في وقت لاحق عن الاستخدامات المتعددة لهذه الألياف، ونرى في الجدول رقم (١-١) نبذة تاريخية عن تطور الاتصالات البصرية.

١٨٥٤	تجربة جون تايندل
١٨٨٠	ألكسندر جراهام بل يقترح الهاتف البصري
١٩٦٠	بناء أول ليزر
١٩٦٦	اقتراح تصنيع ألياف بصرية من الزجاج
١٩٧٠	تصنيع ألياف زجاجية بتوهين يقل عن 20 dB/km
١٩٧٤	تصنيع ألياف زجاجية بتوهين 4 dB/km
١٩٧٦	أمكن الحصول على ألياف زجاجية بتوهين يصل إلى 0.5 dB/km
١٩٧٩	أمكن تخفيض التوهين إلى 0.2 dB/km والحصول على عرض نطاق عال.
١٩٨٠	نشطت الأبحاث في مجال الألياف الزجاجية أحادية النمط .
١٩٨٢	تم الحصول على ليف زجاجي أحادي النمط بتوهين يصل إلى 0.16dB/km وهو أقل توهين ممكن الحصول عليه نظرياً .

جدول (٢-١) تطور الاتصالات البصرية الموجهه

٢ - ٢ عناصر أنظمة الاتصالات عبر الألياف البصرية
Elements of Optical Fiber Communications

تعرضنا في الفصل السابق لنموذج عام للعناصر الأساسية لنظام اتصالات عام وسنقوم في هذا البند بشرح موجز لعناصر نظام اتصالات بصري مبتدئين بمصدر المعلومات ومنتهين بمقصد المعلومات ، كما هو مبين بالشكل (٢-٣).

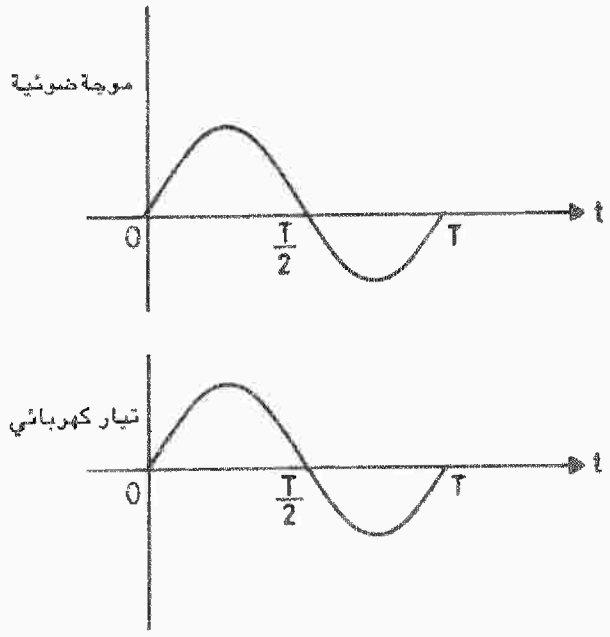
أ - مصدر المعلومات Information Source

تتوفر المعلومات المراد إرسالها بأشكال كثيرة يمكن تصنيفها إلى قسمين، الأول منها على هيئة كميات فيزيائية كالصوت والحرارة والضغط وماإلى ذلك. والقسم الآخر على هيئة إشارات كهربائية كخرج الحواسيب وأجهزة القياس الكهربائية . ولابد من وجود المعلومة بشكل يستطيع نظام الاتصالات التعامل معه، وهو بالطبع الشكل الكهربائي. ففي حالة الكميات الفيزيائية لابد من تحويلها إلى إشارات كهربائية ، أما الكميات الكهربائية فيمكن استخدامها مباشرة .

ب - محول طاقة المدخل Input Transducer

يتولى محول طاقة المدخل تحويل الكميات الفيزيائية إلى إشارات كهربائية ، ومن الأمثلة الشائعة تحويل الأصوات إلى إشارات كهربائية ، إذ تقوم الموجات الصوتية بإحداث تغيير في مقاومة أو مكثف الميكروفون الذي يكون أحد عناصر دائرة كهربائية ، وبالتالي يتغير التيار الكهربائي المار في الدائرة تبعاً لتغير الموجات الصوتية كما هو في الشكل (٢-٤).

الشكل (٢-٣) مخطط إجمالي لنظام اتصال عبر الليف البصري



الشكل (٢-٤) العلاقة بين دخل وخرج محول طاقة المدخل

فلو أردنا إرسال هذه الإشارة عبر نظام الاتصالات فيمكننا ربط محول طاقة المدخل بالمصدر الضوئي مباشرة أو خلال دوائر الكترونية تقوم بتضخيم الموجة أو ترميزها .

جـ - التشكيل Modulation

يمكن التعبير عن التشكيل من خلال المثال التالي ، إذا كان لدينا رسالة مكتوبة على ورقة يطلب نقلها بين نقطتين متباعدتين ، فإن رمي ورقة الرسالة من نقطة المصدر باتجاه المقصد سوف يؤدي إلى نقل الرسالة مسافة قصيرة تسقط بعدها على الأرض ، ولكن لو أمكن ربط هذه الورقة بحجر ثم جرى رمي الحجر من نقطة المصدر فإنه يمكن قطع مسافة أطول ، وبذلك يمكن تأمين الاتصال بين هاتين النقطتين . تمثل الورقة المكتوبة في هذا المثال الإشارات أو المعلومات المراد إرسالها ، ويمثل الحجر الموجة الحاملة carrier

وتمثل العملية فكرة التشكيل ، وتسمى موجة المعلومات بموجة نطاق الأساس baseband signal ونطاق الأساس هنا يعني نطاق ترددات المعلومات نفسها أو موجة المعلومات . ويتفوق تردد الموجة الحاملة عادة بكثير على ترددات موجات نطاق الأساس، وتسمى الموجة الخارجة من المصدر الضوئي بالموجة المشكّله modulated signal . هناك نوعان من التشكيل تماثلي analog ورقمي digital . ففي التشكيل التماثلي يقوم التيار الخارج من محول الطاقة بتشكيل الموجة الحاملة والصادرة من المصدر الضوئي لتأخذ شكل موجة نطاق الأساس وتكون قابلة للإرسال عبر الليف البصري.

أما في النوع الآخر من التشكيل وهو الرقمي، فتحول الموجات التماثلية الخارجة من محول الطاقة إلى متغيرات ذات قيم منفصلة تتغير بشكل متقطع discrete حيث يوجد هناك إشارة (حالة ON) أو لايوجد (حالة OFF) فالحالة ON تمثل الرقم 1 والحالة OFF تمثل0 . وهذه هي الأرقام الثنائية أو مايسمى بثنائيات أو بتات Bits النظام الرقمي ويكون معدل الإرسال هو عدد الثنائيات الرقمية(البتات) لكل ثانية Bits Per Second (bps) ويمكن أن يكون تتابع النبضات بنوعيها ترجمة مرمزة لرسالة تماثلية . وتتم عملية الترميز هذه من خلال إدخال الإشارات التماثلية إلى جهاز الترميز أو محول تماثلي / رقمي analog to digital converter بعدها تذهب تلك الإشارات الرقمية إلى منبع الضوء لتخرج الموجة الضوئية الحاملة بشكل متقطع معبرة عن محتوى المعلومات المراد إرسالها وجاهزة للإرسال عبر الليف البصري وعند المستقبل تحدث عملية معاكسة حيث ترجع الإشارة الرقمية إلى شكلها التماثلي باستخدام جهاز إعادة ترميز أو محول رقمي/ تماثلي digital to analog converter ولابد من الإشارة هنا إلى أن عملية التحويل هذه يجب أن لاتحدث أي تغيير في المعلومات المرسلة .

د . منبع الضوء Light Source

يتولى المنبع الضوئي توليد الموجة الحاملة ويستعمل لهذا الغرض نوعان من

المنابع الضوئية هما ثنائي الليزر Laser Diode (LD) والثنائي الباعث للضوء Light Emitting Diode (LED) . وتتميز هذه الثنائيات بصغر حجمها وخفة وزنها وتستهلك كميات صغيرة من القدرة وتتمتع بسهولة التشكيل أي تحميل المعلومات على إشعاعاتها . يعمل كل من هذين الجهازين بواسطة تمرير تيار كهربائي فيه ويمكن جعل كمية القدرة التي يشعها الجهاز تتناسب مع هذا التيار وبهذه الطريقة فإن القدرة البصرية الخارجة من الثنائي تأخذ شكل التيار القادم من محول طاقة المدخل ، فإذا كان التيار الداخل للثنائي موجي فإن القدرة البصرية الخارجة تكون موجية وهذا مايحدث في التشكيل التماثلي . وإذا كان التيار الداخل للثنائي متقطع فإن القدرة البصرية الخارجة من الثنائي تكون متقطعة وبنفس الأسلوب وهذا مايحدث في التشكيل الرقمي ولابد من التوضيح هنا أن التغيرات في القدرة البصرية تحتوي على المعلومات المرسلة ويسمى هذا بتشكيل الشدة intensity modulation . رأينا في الشكل (٢-٤) أن تيار الموجة الداخلة للمنبع الضوئي يتغير بين موجب وسالب بينما القدرة البصرية الخارجة من الثنائي الباعث للضوء LED موجبة دائماً . لتحقيق هذه الخطية يجب أن يكون تيار التشكيل في النظام التماثلي بكامله موجباً . ويتم ذلك بإضافة تيار انحياز مستمر DC Bias Current إلى إشارة المعلومات المرغوبة أما في حالة التشكيل الرقمي فإن تيار التشكيل موجب دائماً وهذا يعني عدم استخدام تيار انحياز عند استخدام الثنائي الباعث للضوء .

أما في حالة استخدام ثنائي الليزر فإننا بحاجة إلى تيار أدنى يعمل عنده هذا الثنائي ويسمى هذا بالتيار العتبي threshold current . فإذا كان العدد البتة(1) فإن التيار المار بثنائي الليزر يتجاوز قيمة العتبة ويجعل الثنائي يبعث ضوءاً بينما يبقى التيار عند العتبة للبتة (0) ،ولايحدث أي إشعاع . أما في حالة استعمال ثنائي الليزر للتشكيل التماثلي فلابد من استخدام تيار انحياز مستمر بحيث يعمل الثنائي في الجزء الخطي من منحنى خواص التيار - القدرة حتى نحصل على إشارة مماثلة لإشارة الدخل.

هـ - مقرن المدخل Input Coupler

جاء الآن دور تحميل القدرة البصرية الصادرة من المنبع الضوئي على قناة الاتصال . ففي الإرسال اللاسلكي سواء كان إذاعياً أو تلفزيونياً أو غير ذلك يقوم هوائي الإرسال بنقل المعلومات إلى قناة الاتصال وهي الجو. أما في الأنظمة السلكية كالهاتف فإننا نستخدم وصلات بسيطة تربط جهاز الإرسال بخط الإرسال والأمثلة على ذلك كثيرة، أما في حالة استخدام نظام الليف البصري فإن نقل القدرة البصرية من المنبع الضوئي إلى الليفة البصرية يتعرض لفقد كبير والسبب في ذلك يعود إلى أمرين أساسيين، الأول هو صغر حجم الألياف البصرية والتي تبلغ أقطارها 50 μm أو أقل ، والثاني أن الثنائيات الضوئية تبعث القدرة الضوئية على امتداد زوايا كبيرة بينما لاتقبل الألياف البصرية دخول الضوء إليها إلا ضمن زوايا محددة وصغيرة وللحصول على أقل فقد ممكن لابد أن نحرص على تقارب قيم زوايا مخروط الإشعاع للثنائي الضوئي وزوايا القبول لليف البصري أو تصميم وسائل اقتران متطورة .

وسنقوم بشرح هذه الخواص في فصول قادمة لكن يجب أن نلاحظ أن مقرن المدخل جزء مهم من تصميم نظام الليف البصري بسبب إمكانية حدوث فقد كبير فيه .

و - قناة الاتصال او قناة المعلومات Communication or Information Channel

تعرّف قناة الاتصال بأنها المسار بين المرسل والمستقبل ، وفي نظام الاتصالات عبر الألياف البصرية يكون الليف الزجاجي أو البلاستيكي هو القناة . ولكي تكون لهذه القناة فعالية فلابد أن يكون التوهين ضعيفاً وزاوية القبول كبيرة حتى يستطيع الضوء قطع مسافات طويلة دون أن يضعف، وأن نجمع أكبر قدر من الضوء ليقترن بقناة الاتصال خاصة عند الإرسال لمسافات طويلة . وعلى الرغم من وجود أجهزة استقبال حساسة إلا أن القدرة الواصلة إلى المستقبل يجب أن لاتقل عن مستوى معين للحصول على المعلومات المرسلة بصورة مرضية.

هناك خاصية أخرى لقناة الاتصال هي زمن انتشار propagation time الموجات خلالها . ويعتمد ذلك على تردد الضوء، وعلى مسار الأشعة الضوئية وتحتوي الإشارة المنتشرة في الليف على مجموعة من الترددات البصرية لأن المنابع الضوئية تبعث مجموعة من الترددات أو الأطوال الموجية wavelengths فتتوزع القدرة على عدة مسارات ويؤدي ذلك إلى تشوه الإشارة المنتشرة وللتقليل من هذا التأثير يتم إرسال المعلومات بمعدل منخفض low transmission rate وهذا غير محبب لأنه يحد من قيمة النظام ويمكن التقليل من تشوه الإشارة من خلال استعمال ألياف أحادية النمط single mode fibers ولكن هذا يوقعنا في مشكلة أخرى، إذ أن هذه الألياف صغيرة جداً حيث يبلغ قطرها $10\mu m$ فيصعب اقتران الضوء بها كما أن زاوية قبولها صغيرة .

أياً كانت الألياف فإن المتطلبات متناقضة من أجل زاوية قبول ضوئية كبيرة وتشوه إشارة منخفض. ولكن بالإمكان الحصول على أطوال خطوط ومعدل معلومات مقبولة باستخدام ألياف ذات زوايا قبول مناسبة وتشوه إشارة مقبول كما سيتبين ذلك في فصول لاحقة .

ولا يقتصر الفقد في قناة الاتصال عبر الألياف البصرية على التوهين في الليف البصري فحسب بل هناك عناصر أخرى يجب أخذها بعين الاعتبار وهي الوصلات الدائمة splices ،حيث أن الليف البصري يصنع بأطوال محددة لذا فإن الحصول على خطوط طويلة يتطلب ربط الألياف بعضها ببعض وكل وصلة تسبب فقد في مقدار القدرة المرسلة في حدود 0.2dB . لذا يجب الإقلال من هذه الوصلات ماأمكن ذلك . تتعرض القدرة المرسلة للتوهين نتيجة الفقد في مقرن المدخل والليف البصري والوصلات الدائمة ، فإذا كانت المسافة طويلة فتحتاج إلى مكررات repeaters توضع على مسافات معينة تتراوح المسافة بين المكررات من ٥٠ كيلومتر إلى ١٠٠ كيلومتر . تقوم هذه المكررات بتضخيم الإشارات إلى ماكانت عليه في بداية الإرسال عبر الليف البصري ، وحيث أن المكررات تتكون من دوائر إلكترونية فلابد من تحويل القدرة الضوئية إلى كهربائية وبعد

تضخيمها تحول إلى قدرة ضوئية وترسل ثانية عبر الليف البصري وقد تتكرر العملية عدة مرات حسب مسافة الإرسال إلى أن تصل إلى المستقبل .

د - مقرن المخرج Output Coupler

في نظام الاتصالات اللاسلكية يقوم الهوائي بتجميع الإشارة من قناة المعلومات وهي الجو ويوجهها نحو المستقبل وفي الأنظمة السلكية كالهاتف فإننا نستخدم مقرن بسيط لتوصيل الأسلاك الهاتفية بجهاز الاستقبال . أما في نظام الاتصالات عبر الألياف البصرية، فإن عمل مقرن المخرج هو توجيه الضوء الخارج من الليف نحو الكاشف الضوئي ويخرج الضوء بشكل مخروطي كما كان في حالة الدخول ، وحيث أن الكواشف الضوئية ذات مسطحات كبيرة وزوايا قبول واسعة فإنه يتم استخلاص الضوء من الليف بصورة فعالة .

هـ - كاشف الضوء Light Detector

يتولى الكاشف الضوئي تحويل القدرة البصرية إلى تيار كهربائي ويتناسب التيار الخارج من الكاشف مع قدرة الموجة البصرية الساقطة عليه وحيث أن تغيرات القدرة البصرية تحتوي على المعلومات المرغوبة، فإن تيار خرج الكاشف يحتوي هذه المعلومات وهذا التيار يماثل التيار المستعمل في قيادة المنبع الضوئي (مصدر الموجة الحاملة) وتسمى تلك العملية بإزالة التشكيل (الكشف) demodulation . وتستخدم لهذا الغرض ثنائيات ضوئية مصنعة من أشباه الموصلاتsemiconductors وهناك عدة أنواع منها وتتميز بصغر الحجم وقلة الوزن كما أنها إقتصادية ولها عمر طويل، واستهلاك قدرة منخفض وحساسية عالية للإشارات البصرية، واستجابة سريعة للتغيرات السريعة في القدرة البصرية.

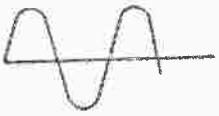
ط - معالج الإشارة Signal Processor

يتولى معالج الإشارة تضخيم وترشيح الإشارة في أنظمة إرسال الإشارة التماثلية، إذ لايقوم بالتخلص من تيار الانحياز الثابت فحسب بل يمنع كافة الترددات غير المرغوب فيها من الاستمرار في الانتقال ويسمح بمرور كل الترددات التي تحتويها المعلومات المرسلة ، فيؤدي هذا إلى وضوح الإرسال المطلوب . يزيد الترشيح المناسب نسبة قدرة الإشارة إلى القدرة غير المرغوبة حتى القيمة العظمى .

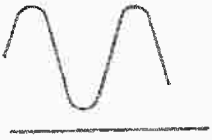
أما في حالة نظام إرسال الإشارة الرقمي فتضاف إلى معالج الإشارة دوائر قرار بالإضافة، إلى المضخمات والمرشحات، تقرر بها دوائر القرار فيما إذا كان قد استقبل (1) أو (0) خلال الشق الزمني لأي بتة.

وبسبب الضوضاء في عناصر النظام المختلفة فإن حدوث خطأ في البتات، وارد ويجب أن يكون معدل الخطأ في البتات، bit error rate (BER) صفيراً جداً للحصول على اتصالات عالية الجودة . وعلى معالج الإشارة الرقمية أن يفك ترميز التتابع إذا كانت الرسالة تماثلية ويتم هذا بواسطة محول رقمي تماثلي فينتج الشكل الكهربائي الأصلي للموجات ، أما إذا كان الاتصال بين آلات فإن الإرسال الرقمي مناسب لكي يستعمل بدون التحويل الرقمي التماثلي .

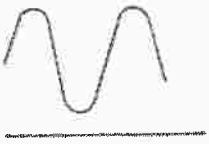
ولإيضاح حالة الإشارة في نظام إرسال الإشارة التماثلي نرى في الشكل (٢-٥) حالة إشارة تماثلية عند نقاط مختلفة من النظام في الجزء (أ) التيار الناتج بعد محول الطاقة والذي يمثل الرسالة الأصلية والجزء (ب) شكل الموجة بعد إضافة تيار الإزاحة وفي الجزء (جـ) تغير القدرة البصرية الداخلة إلى الليف البصري ، وفي الجزء (د) تغير القدرة البصرية عند نهاية الليف بعد تعرضها للفقد في مقرن المدخل والوصلات الدائمة والتوهين في الليف . شكل التيار الخارج من الكاشف موضح بالجزء (هـ) أما الجزء (و) فيمثل التيار بعد الترشيح والتضخيم.



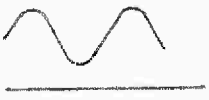
(أ) تيار يمثل الرسالة الأصلية



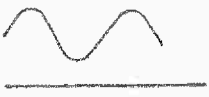
(ب) تيار خرج المشكل



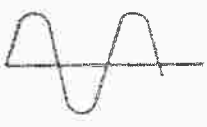
(جـ) تغير القدرة البصرية
عند مدخل الليف



(د) تغير القدرة البصرية
عند نهاية الليف



(هـ) شكل موجة التيار خارج
الكاشف الضوئي



(و) التيار بعد الترشيح
والتضخيم

الشكل (٢-٥) الإشارات عند نقاط مختلفة من نظام تماثلي

ي - محول طاقة المخرج Output Transducer

يتولى محول طاقة المخرج تحويل الإشارة الكهربائية بعد تضخيمها وترشيحها إلى شكلها الأصلي . فلو كانت الإشارة الأصلية المرسلة صوت فإننا نستخدم المجهار loudspeaker لتحويل التيار الكهربائي إلى صوت نتمكن من سماعه أما إذا كانت الإشارة الأصلية المرسلة صورة فنستخدم أنبوبة الأشعة المهبطية لتحويل التيار إلى صورة نستطيع مشاهدتها كالتلفزيون .

أما إذا كانت الإشارة المنقولة كهربائية كالتخاطب بين الحواسيب وأجهزة القياس الكهربائية ، فإننا نستخدم الإشارة بشكلها الكهربائي وتوزع الرسالة بواسطة موصلات كهربائية دون استخدام محول طاقة المخرج .

٢ - ٣ أنواع الألياف البصرية Types of Optical Fibers

يتعين على مهندسي الاتصالات التعرف على أنواع الألياف البصرية وخصائصها قبل التوصية باستخدامها في التطبيقات المختلفة ، لذا لابد من إعطاء نبذة موجزة عن الألياف البصرية الموجودة حالياً :

أ - الياف متعددة النمط وبمعامل انكسار عتبي

Multimode Step Index Fibers

يتألف الليف البصري من جزئين أساسيين هما لب الليف والذي يشغل مركز الليف يحيط به كساء يضاف لذلك طبقة واقية تسمى الغلاف .

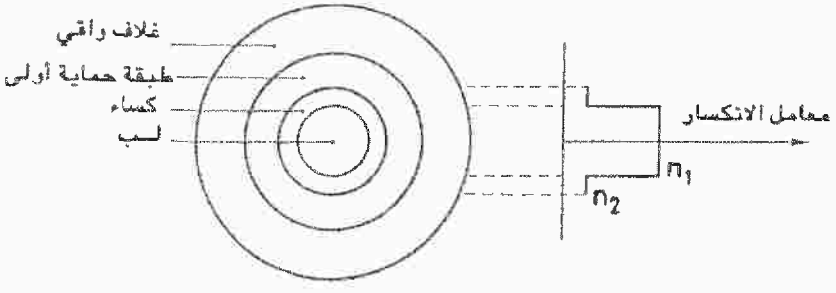
يصنع هذا النوع من الألياف البصرية من عناصر مختلفة من الزجاج ومركباته أو من السليكا المطعمة . تتميز هذه الألياف بكبر قطر اللب وكبر فتحة النفوذ العددية والتي تمكن من دخول كمية كبيرة من الضوء لليف البصري، خاصة عند استخدام الثنائيات الباعثة للضوء (LEDs) . وتعتمد خواص هذه الألياف على نوع الليف والمواد المصنع

منها وطريقة التصنيع.وتعتبر الألياف المصنعة من السليكا المطعمة أفضل الألياف البصرية، وفي الشكل (٢-٦) نرى مقطعاً لليف بصري بأجزائه المختلفة والمكونة من اللب والكساء والطبقات الواقية وتتغير قيمة معامل الانكسار عبر الليف البصري حيث نلاحظ أن أعلى قيمة له هي في اللب وتقل قيمته في الكساء .

يعطي الجدول (٢-٢) مواصفات الأجزاء المختلفة لهذا النوع من الألياف .

قطر اللب	50- 400μm
قطر الكساء	125-500μm
قطر الغلاف الواقي	250-1000μm
فتحة النفوذ العددية	0.16 - 0.5

الجدول رقم (٢ - ٢)



الشكل رقم (٢-٦)مقطع نموذجي
لليف بصري متعدد النمط ومعامل إنكسار عتبي

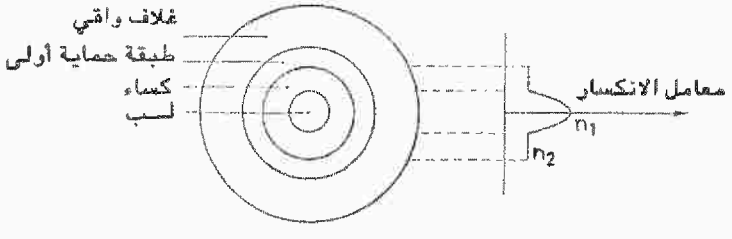
ويتراوح توهين هذه الألياف بين 4dB/km و 50dB/km وذلك حسب المواد المصنعة منها الألياف والطول الموجي المستخدم ، أمـــا عـــرض النطاق فيتـــراوح بـــين 6 MHz- km و 25 MHz - km وتستخدم لنقل المعلومات لمسافات قصيـــرة وعرض نطاق محدود ، غير أن تكلفتها قليلة .

ب - الياف متعددة النمط وبمعامل انكسار متدرج

Multimode Graded Index Fibers

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 الزجاجية أو السليكا المطعمة . وقد تصنع هذه الألياف من مواد ذات نقاوة أعلى من تلك التي تصنع منها الألياف متعددة النمط وبمعامل انكسار عتبي حتى يقل فقد الليف البصري .

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 ، غير أن القطر الكلي بما فيه الطبقة الواقية متساو في كلتا الحالتين.وهذا يعطي الليف البصري مقاومة أكثر للثني ونرى في الشكل (٢-٧) مقطعاً نموذجياً لهذا النوع من الألياف .



الشكل (٢-٧) مقطع نموذجي لليف متعدد النمط
بمعامل انكسار متدرج مصنوع من الزجاج

وفي الجدول (٢-٣) أقطار الأجزاء المختلفة لليف وفتحة النفوذ العددية

قطر اللـــب	30- 60μm
قطر الكساء	100-150μm
قطر الغلاف الواقي	250-1000μm
فتحة النفوذ العددية	0.2 - 0.3

الجدول رقم (٢ - ٣) أقطار أجزاء الليف وفتحة النفوذ العددية

لابد من الإشارة هنا إلى أن القطر القياسي للب المستخدم في الاتصالات البعيدة هو 50μm ، والقطر القياسي للكساء المستخدم في الاتصالات البعيدة هو 125μm

ويتراوح توهين هذه الألياف بين 2dB/km و 10dB/km وعرض النطاق من 150MHz- km وحتى 2GHz - km وتستخدم للمسافات المتوسطة وعرض نطاق متوسط إلى عالي مع الثنائيات الباعثة للضوء LEDs وثنائيات الليزر على التوالي .

جـ - الياف احادية النمط Single Mode Fibers

قد يكون معامل إنكسار الليف متعدد النمط متدرج أو عتبي ولكن معظم الألياف أحادية النمط الموجودة حالياً ذات معامل إنكسار عتبي . تتميز الألياف أحادية النمط بنوعيتها الممتازة كما أن عرض النطاق فيها كبير وتستعمل للمسافات الطويلة وتصنع من مادة السليكا المطعمة لتقليل التوهين .

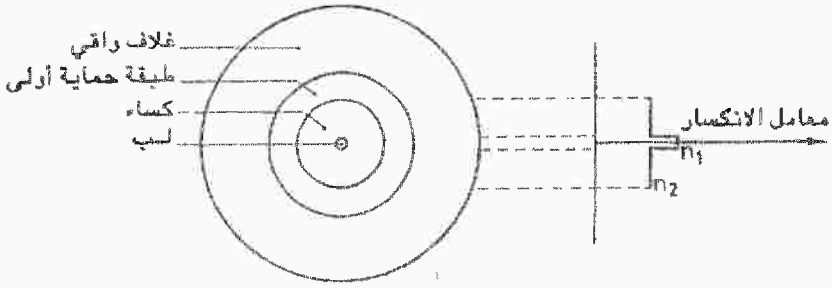
ولو أن قطر اللب صغير جداً إلا أن قطر الكساء يبلغ أضعاف قطر اللب وذلك للتقليل من نسبة الفقد من الموجات المضمحلة evanescent التي تمتد داخل الكساء. ومع استخدام الغلاف الواقي يصبح القطر الإجمالي لليف أحادي النمط مساوٍ إلى قطر

ليف متعدد النمط . ونرى في الشكل (٢-٨) مقطعاً لليف من هذا النوع . وفي الجدول (٢-٤) أبعاد الليف أحادي النمط وفتحة النفوذ العددية .

قطر اللب	3- 10μm
قطر الكساء	50-125μm
قطر الغلاف الواقي	250-1000μm
فتحة النفوذ العددية	.08 - 0.15

الجدول رقم (٢ - ٤) أقطار ليف أحادي النمط

وفتحة النفوذ العددية

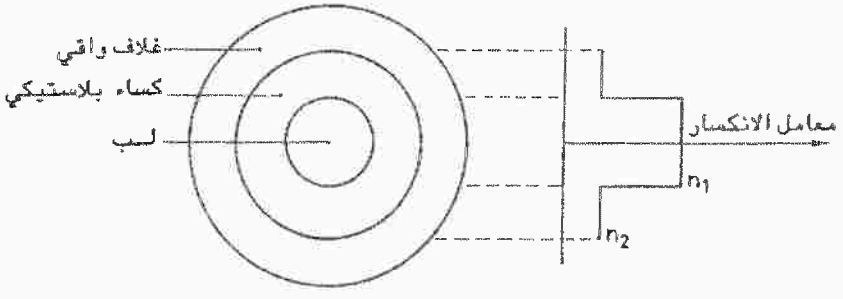


الشكل (٢-٨) ليف أحادي النمط بمعامل إنكسار عتبي

يبلغ توهين هذه الألياف 2-5 dB/km عند طول موجي $\lambda = .85\,\mu$ m .
ويمكن الحصول على توهين أقل عند أطوال موجية أعلى ، كما أن عرض النطاق يزيد عن 500MHz-km ويستخدم في الخطوط الطويلة ذات سعة النطاق العالية والمنبع الضوئي المستخدم في الإرسال من نوع ثنائي الليزر الحاقن injection laser diode .

د - الياف بكساء بلاستيكي Plastic Clad Fibers

عادة ماتكون هذه الألياف متعددة النمط وبمعامل انكسار متدرج أو عتبي يصنع اللب من الزجاج والكساء من المطاط السليكوني silicone rubber يقل فقدها الإشعاعي عن مثيلتها المصنعة من السليكا بالكامل ، لذا فإن انجازها يتحسن في بعض المواقع كما أن سعرها أقل ، وفي الشكل (٢-٩) مقطع لهذا الليف ، وفي الجدول (٢-٥) نذكر أبعاد الليف وفتحة نفوذه العددية .



الشكل (٢-٩) مقطع لليف بصري لبه من السليكا وكساءه من البلاستيك

قطر اللـــب	معامل انكسار عتبي معامل انكسار متدرج	100- 500μm 50- 100μm
قطر الكساء	معامل انكسار عتبي معامل انكسار متدرج	300-800μm 125- 150μm
قطر الغلاف الواقي	معامل انكسار عتبي معامل انكسار متدرج	500-1000μm 250- 1000μm
فتحة النفوذ العددية	معامل انكسار عتبي معامل انكسار متدرج	.5 - .2 .3 - .2

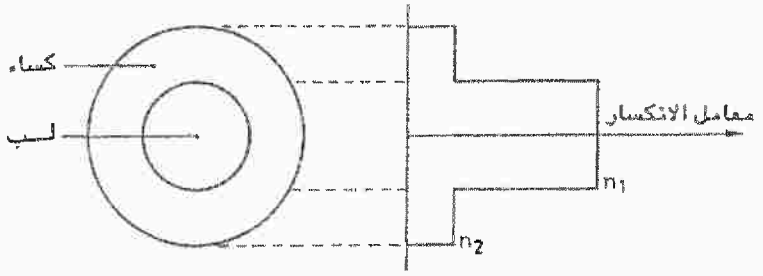
الجدول رقم(٢-٥)أبعاد الليف الزجاجي بغلاف بلاستيكي وفتحة النفوذالعددية

يتراوح توهين الليف بمعامل انكسار عتبي بين 5-50 dB/km وتوهين الليف بمعامل انكسار متدرج 4-15 dB/km. أما عرض النطاق لليف بمعامل انكسار عتبي فهو 5-25MHz km وعرض النطاق لليف بمعامل انكسار متدرج 200 -400 MHz-km.

تستعمل هذه الألياف إذا كان عرض النطاق قليلاً ومسافات النقل قصيرة وتمتاز عن الألياف ذات الكساء الزجاجي بسهولة الترصيل .

هـ - الياف بلاستيكية All Plastic Fibers

جميع الألياف البلاستيكية متعددة النمط وذات معامل انكسار عتبي وأقطارها كبيرة ولايستخدم فيها غلاف واقي لكبر حجمها . سعرها رخيص ويسهل التعامل معها وفتحة النفوذالعددية كبيرة غير أن فقدها كبير ويحد هذا من استخدامها في الاتصالات. وفي الشكل (٢-١٠) مقطع لهذا الليف ، وفي الجدول (٢-٦) أبعاد الليف البلاستيكي وفتحة النفوذ العددية .



الشكل (٢-١٠) مقطع لليف بصري من البلاستيك

قطر اللـب	200- 600μm
قطر الكساء	450 -1000μm
فتحة النفوذ العددية	0.5 - 0.6

الجدول رقم (٢ - ٦)

قطر الليف وفتحة نفوذه العددية

يبلغ التوهين عند طول موجي $\lambda = 0.65\mu m$. 350-1000dB/km .
وعرض النطاق قليل جداً حيث لاتستخدم هذه الألياف إلا لعشرات الأمتار كالاستخدام المنزلي ونحوه .

٢ - ٤ ميزات الألياف البصرية Advantages of Optical Fibers

قبل أن نتطرق إلى ميزات الألياف البصرية لابد من الإشارة إلى أن هناك قيوداً إقتصادية وتقنية لابد من اعتبارها قبل اختيار نظام الليف البصري ولابد من دراسة أنظمة الاتصالات السلكية واللاسلكية ومقارنة مزايا ومساوىء كل نظام من الأنظمة ، ولم يأتي اختيار الألياف البصرية عبثاً بل هناك أسباباً كثيرة لهذا الاختيار وسنتطرق في هذا البند

إلى هذه الميزات ، ولابد من الإشارة إلى أن هناك مساوىء للألياف البصرية كارتفاع تكلفة الموصل البصري وكبر فقده وصعوبة توصيل الألياف ببعضها وبالمنبع والكواشف الضوئية مقارنة بالأنظمة السلكية الأخرى. ولكن هذه المساوىء لاتقلل من أهمية الألياف البصرية للاتصالات للميزات الكثيرة التي سنذكرها وهي :

١ - عرض نطاقها عال جداً .

٢ - قطرها صغير ووزنها خفيف .

٣ - لايوجد تداخل بينها مهما قربت المسافة بينها .

٤ - لا تتأثر بالحث أو التداخل الكهرومغناطيسي.

٥ - انخفاض في سعر تكلفة المكالمات.

٦ - أكثر أماناً وسلامة .

٧ - حياتها طويلة .

٨ - تتحمل درجات حرارة عالية ولاتتأثر بالمواد الكيميائية.

٩ - سهولة الصيانة كما يمكن الاعتماد عليها .

وسنشرح الآن الفوائد الرئيسية للألياف البصرية :-

١ - إن عرض النطاق المرتفع جداً يعني إمكانية نقل معلومات عالية جداً بواسطة ليفه بصرية واحدة وقد تكون هذه المعلومات صور تلفزيونية أو مكالمات هاتفية أو معلومات للحواسيب أو مزيج منها . وقد أثبتت التجارب إمكانية نقل معلومات بمعدل (10 Gb/s) ولمسافة ٨٠ كم بدون مكررات repeaters مستخدمين الطول الموجي 1310nm ومرسلات ثنائي الليزر laser diode ومستقبلات الثنائي الضوئي الجرفي(avalanche photodiode(APD أما عند استخدام النبضات الطبيعية solitons فقد تم إرسالها لمسافة ١٥٠٠٠كم بمعدل معطيات 5Gb/s باستخدام تعدد الإرسال بتقسيم الزمن time division multiplexing (TDM) ومعدل معلومات 10Gb/s عند استخدام تعدد الارسال بتقسيم الطول

الموجي wavelength division multiplexing (WDM)
والأبحاث مستمرة في أنحاء العالم للحصول على أنظمة تعمل بمعدل معلومات أعلى ولمسافات أطول.

من الناحية النظرية فإن عرض نطاق ليفه بصرية واحدة هو 10^4 GHz ، فلو فرضنا أن المسافة بين المكررات تبلغ 100 km فإن هذا يعني إمكانية نقل المعلومات المذكورة في الجدول (٢-٧) وهي معلومات أقرب للخيال منها للواقع، وبإمكاننا أن نضع مجموعة منها ضمن كابل واحد ، وهذا بالطبع يعني منبعا لاينضب من وسائل نقل المعلومات . ويتناسب عرض النطاق تناسباً طردياً مع أعلى معدل لنقل المعلومات أو سعة نقل المعلومات Information carrying capacity.

نوع القناة	عدد القنوات	معدل الإرسال
قناة صوتية	160مليون قناة	64kb/s
معلومات	1 بليون	9.6 kb/s
قناة تلفزيونية	200 ألف قناة	44 Mb/s

الجدول (٢ - ٧)

٢ - قطرها صغير ووزنها خفيف ، يبلغ سمك الليفة البصرية سمك الشعره ، وعلى الرغم من أن هناك طبقات واقية توضع فوقها إلا أنها لاتزال أقل حجماً ووزنا من الأسلاك الهاتفية أو المحورية ومثالاً على ذلك أن ليف بصري بقطر يبلغ 125 µm ضمن كابل يبلغ قطره ٦ ملم يمكن له أن يحل محل كابل هاتفي قطره ٨ سم ويحتوي على ٩٠٠ زوج من الخطوط السلكية النحاسية وهذا يعني أن الحجم قد انخفض بنسبة تزيد عن ١ : ١٠ وكمثال آخر على صغر حجم الكابلات البصرية فإن كابلات محورية بطول ٢٣٠ متر وقطر ٤٦ سم وتزن ٧ طن كانت

تستخدم في نظام رادار متقدم على ظهر أحد السفن تم استبدالها بكابلات بصرية تزن ١٨ كغم وقطرها ٢,٥ سم.

مما سبق يتضح لنا إمكانية إضافة كابلات بصرية في نفس مسارات الكابلات النحاسية والمحورية في شتى مجالات الاتصالات السلكية .

ونظراً لهذه الميزة فقد تم استبدال الكابلات النحاسية في كثير من الطائرات والبواخر بألياف بصرية . وبسبب صغر الحجم وقلة الوزن فإن نقلها وتركيبها يتم بصورة أسهل وأسرع من الكابلات النحاسية وهذا يعني تكلفة أقل.

٣ - نلاحظ أحياناً عند إجراء محادثة هاتفية سماع أصوات محادثات هاتفية أخرى وهو مايطلق عليه باللغط وهذا النوع من التداخل لايحدث عند استخدام الألياف البصرية مهما قربت المسافة بينها.

٤ - تتمتع الألياف البصرية لكونها مصنعة من مواد عازلة dielectrics بعدم تأثرها بالحث الكهرومغناطيسي الصادر من المصادر الكهرومغناطيسية الصناعية كالمحركات والمولدات والأجهزة الكهربائية المختلفة أو الطبيعية كالبرق وتلك الخاصية تغنينا عن وضع مواد عازلة لحمايتها من الحث induction والتداخل interference .

٥ - تصنع معظم الألياف البصرية في وقتنا الحاضر من مادة السليكا الموجودة بكثرة في الرمل والتي يقل سعرها كثيراً عن معدن النحاس الذي بدأ ينفذ في أماكن كثيرة من العالم ، ونظراً للميزات التي ذكرناها في البنود ٢,١ فإن ثمن نقل المعلومات بأنواعها المختلفة سيقل عن الأنظمة المختلفة الأخرى .

٦ - نظراً لأن الضوء هو الوسط الناقل للمعلومات في الألياف البصرية ولايولد هذا الضوء أي مجال مغناطيسي خارج الكابل فإن من الصعوبة بمكان التجسس ومعرفة المعلومات التي يحويها الكابل البصري كما أن من الصعوبة معرفة وجود الكابل البصري بسبب المادة المصنع منها ولايوجد جزء معدني إلا في بعض الحالات حيث تتم إضافة كابل فولاذي لتقوية الكابل البصري . أو تسليح معدني لحماية الكابل من القوارض والأحمال الخارجية .

أما الميزة الأخرى فهي سلامة الألياف البصرية لأن الضوء هو الناقل ولايمكنه أن يحدث شرراً أو دائرة قصر لعدم وجود تيار كهربائي فيه ولهذا السبب يمكن استخدام الألياف البصرية في المحلات الحاوية على غازات أو مواد قابلة للإحتراق ومستودعات المواد الخطرة كما أن احتمال كهربة العاملين في الألياف البصرية غير وارد .

٧ - يتوقع أن يكون عمر الألياف البصرية في حدود ٢٥ عام مقارنة بخمسة عشر عام للنظم الأخرى حيث أن المكونات الأساسية للألياف هي الزجاج والذي لايصدأ على عكس النظم الأخرى والتي تحوي على معادن تتعرض للصدأ .

٨ - 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.

٩ - أثبتت التجارب التي أجريت حديثاً إمكانية وضع المكررات repeaters على مسافة ١٠٠ 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 حاليا تتراوح بين ٤ إلى ٦ كم .

٢ - ٥ استخدام الألياف البصرية Applications of Optical Fibers

تعرضنا في القسم السابق إلى فوائد الألياف البصرية ، ومما لاشك فيه أن كثيراً من الحقول في المجالات المدنية والعسكرية بدأت تستفيد من هذه الفوائد ومن الصعب جداً التعرض لكل المجالات الممكن استخدام الألياف البصرية فيها وسنقوم في هذا القسم بالتعرض لبعض الاستخدامات العامة، وأهم الاستخدامات للألياف البصرية هي :

أ - الإتصالات 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 تشغيله في ٢٢ أبريل ١٩٧٧م وقد استخدم الإرسال الرقمي في هذا الخط ، كما أن المكررات كانت على مسافة ٣ر٦ كيلومتر واستخدمت الثنائيات الباعثة للضوء light emitting diodes في أجهزة الارسال وثنائيات الضوء الجرفية avalanche photodiodes في أجهزة الاستقبال وكانت سعة هذا الخط ٢٤ مكالمة آنية وقد استخدم تشكيل الرمز النبضي pulse code modulation في هذا الخط . وتلا ذلك إنشاء عدد كبير من الخطوط الهاتفية في أنحاء العالم بلغت سعة بعضها حوالي ٢٦٥٦٢ مكالمة هاتفية يمكن تنفيذها في وقت واحد .

ب - الإتصالات التلفزيونية TV Communications

بدأ أول استخدام للألياف 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 نظام الكابل التلفزيوني cable television (CATV) .

جـ - محطات القوى Power Stations

نظراً لعدم تأثر الألياف البصرية بالتداخل أو الحث الناتج عن المولدات الكهربائية أو خطوط الضغط العالي فقد تم تركيب الألياف البصرية في محطات القوى الكهربائية لنقل المكالمات الهاتفية ونقل المعلومات ، كما تم تركيبها جنباً إلى جنب مع خطوط الضغط العالي لنقل المعلومات data transmission والسيطرة control .

د - الشبكات المحلية Local Area Networks

يطلق هذا الأسم على شبكات الاتصالات المستخدمة لتبادل المعلومات بين الحاسبات والمستخدمين وهذه الشبكات تكون في نطاق جغرافي محدود كمكاتب الشركات أو الجامعات أو المستشفيات أو غيرها ومجالاتها مابين ١٠٠ متر إلى ١٠ كم وسعة نطاقها فوق المليون بتة/ ثانية وهناك عدة تكوينات لهذه الشبكات نذكر منها الشبكة الحلقية والنجمية وغيرها .

هـ - الاستخدامات العسكرية Military Applications

بدأ أول الاستخدامات العسكرية للألياف البصرية في السفن والطائرات الحربية نظراً للميزات التي ذكرناها وبصفة خاصة قلة الوزن والحجم. ثم تلا ذلك استخدامها في ميادين المعارك حيث خفة الوزن وصغر الحجم وسهولة النقل ، أمور هامة في مثل هذا الوضع ، كما تم استخدامها في الخطوط الأمامية في جبهات القتال .

و - استخدامات متفرقة Other Applications

ذكرنا بعض الاستخدامات الهامة للألياف البصرية وحيث أن من الصعوبة التطرق لكل الاستخدامات الممكنة لابد من ذكر بعض منها :

أ - الاستخدامات الطبية (المناظير الطبية بكافة أنواعها).

ب - قياس درجات الحرارة عن بعد .

جـ - قياس المجالات المغناطيسية الخطرة .

د - مصانع البتروكيماويات والمصافي.

هـ - الكابلات البحرية .

٢ - ٦ التوجهات المستقبلية Future Trends

شهد حقل البصريات الليفية fiber optics تطوراً مذهلاً خلال السنوات الخمس الماضية لم يتوقعه حتى العاملون في المجال كان التركيز في هذا التطور هو الحصول على أجهزة وشبكات ذات كفاءة عالية بتكلفة أقل وتطويع البصريات الليفية لتوائم أنظمة الاتصالات القائمة وتبسيط التعامل مع نظم الألياف البصرية وكنتيجة للأبحاث الدؤوبة فقد برزت مجالات جديدة سيكون لها تأثير كبير على انتشار هذه التقنية وهي :

أ - مضخمات الألياف المطعمة بالأربيوم .

ب- الدوائر الفوتونية المتكاملة .

جـ - ألياف مصنعة من زجاج الهالايد Halide Glass .

د - استخدام النبضات الطبيعية Solitons

هـ - زيادة عدد مكونات الدوائر المتكاملة لتزيد عن مليون مكوّنة لكل رقاقة.

و - الحصول على منابع ضوئية بتردد واحد .

وقد انشئت خطوط ألياف بصرية تنقل المعلومات بمعدل يصل إلى 2.4Gb/s وهناك خطط لزيادة هذا المعدل سواء تحت البحر أو على اليابسة كما أن مضخمات الألياف المطعمة بالأربيوم ستغني عن المضخمات الالكترونية والمكررات ويصبح نقل المعلومات لآلاف الكيلومترات ممكناً بدون مكررات ، ويفتح استخدام النبضات الطبيعيـــة

آفاقاً جديدة لم تكن معروفة في السابق ، وسيمكن إرسال المعلومات بمعدلات عالية جداً لآلاف الكيلومترات دون مكررات أو معالجة .

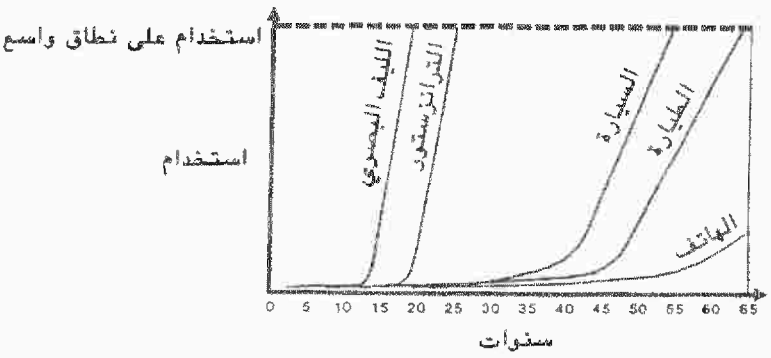
وستتركز الاستخدامات المستقبلية على :

(١) تكوين شبكات إتصال ذكية وذات سعة عالية تربط القارات مع بعضها .
(٢) ربط المكاتب الرئيسية مع بعضها كالشركات الكبرى والبنوك وما إلى ذلك .
(٣) ايصال الخدمات للمنازل.
(٤) التوسع في استخدام الشبكات المحلية وشبكات المناطق الواسعة بكافة أنواعها .
(٥) استخدام أجهزة تبديل switching سريعة .
(٦) تحسين تعدد الإرسال واستخدام تعدد تقسيم الطول الموجي.
(٧) استخدام المكونات الفوتونية .

٢ - ٧ الخلاصة Summary

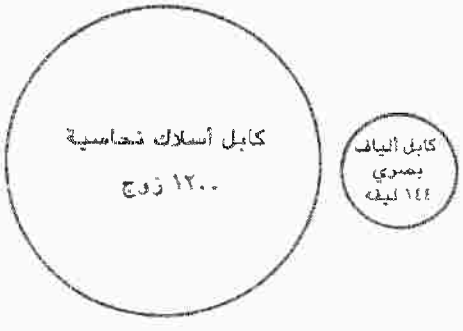
استعرضنا في هذا الفصل التطور التاريخي لإستخدام الاتصالات البصرية الموجهة والتي بدأت بتجربة جون تايندل التي أثبتت إمكان توجيه الضوء إذا وجد الوسط المادي المناسب. لكن الثورة الحقيقية في مجال الاتصالات البصرية بدأت عند اكتشاف الليزر عام ١٩٦٠. ولم يبدأ التفكير العملي باستخدام الألياف البصرية إلا عند اكتشاف ألياف زجاجية بفقد يصل إلى 20 dB/km عام ١٩٧٠ . وبدأت التجارب لاستخدامها عام ١٩٧٦ ووصلت الخدمة التجارية عام ١٩٧٧ وقد تطور استخدامها مع الزمن بشكل يفوق كثير من الاكتشافات الأخرى كما هو في الشكل (٢-١١).

ونظراً لاختلاف مكونات الاتصال عبر الليف البصري عن الأنظمة الالكترونية فقد تطرقنا للمكونات الأساسية ودورها في النظام وضرورة تحويل الاشارات الكهربائية إلى ضوئية حتى نتمكن من الإرسال عبر الليف البصري وبمعرفة أسلوب انتقال الموجات الضوئية وخصائص الألياف البصرية فقد وجدت أنواع كثيرة من الألياف البصرية يستخدم



الشكل (٢-١١) تطور الاستخدام مع الزمن

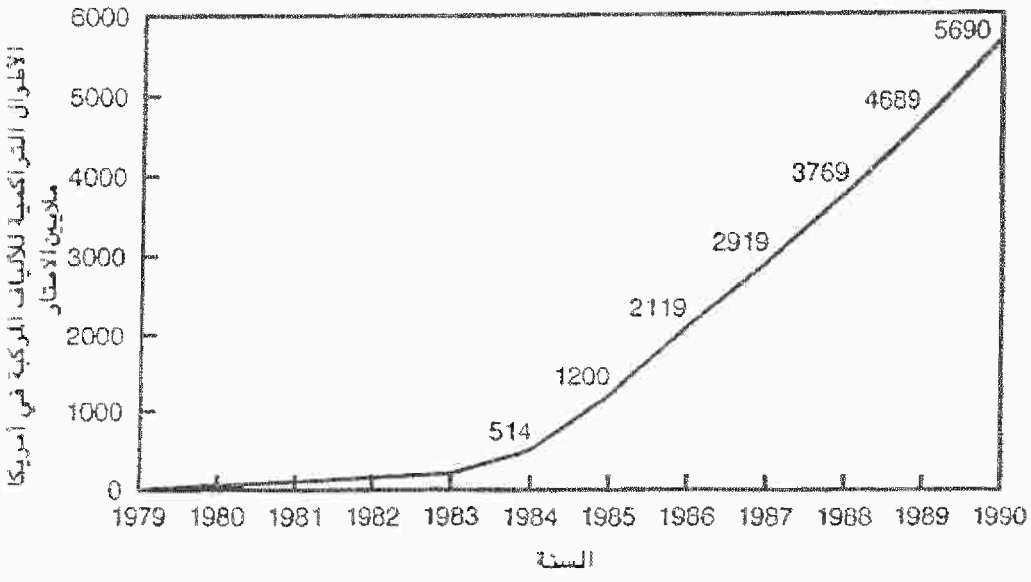
كل منها لغرض معين ، وقد استعرضنا الأصناف الشائعة والموجودة بشكل تجاري وهناك أنواع خاصة سنشرحها فيما بعد . ولم يأت استخدام الألياف البصرية عبثاً بل بسبب الميزات الكثيرة التي تتمتع بها مما جعلها تتفوق على الاتصالات السلكية الأخرى ، ونورد في الشكل (٢-١٢) مقارنة بين كابل بصري وآخر نحاسي. إذ تبدو فيه مقارنة الحجم وسعة كل كابل وعدد القنوات الصوتية التي يستطيع كل منهما أن يمرره .



	كابل أسلاك نحاسية	كابل ألياف بصري	معامل الميزه البصري
معدل المعلومات R	1.2 Gb/s	6.2 Mn/s	180
مسافة المكررات D	50 km	1.5 km	33.3
RX D	56000	9.3	6020
عدد القنوات الصوتية	1.161.216	57600	20.2

(٢-١٢) مقارنة بين كابل ألياف بصري وكابل أسلاك نحاسي

وقد شاع استخدام الألياف البصرية في معظم الاتصالات السلكية وبدأت تحل محل كثير منها ، وأصبحت تنافس الاتصالات اللاسلكية بعيدة المدى كالاتصالات عبر السواتل الفضائية ، وكدليل على التوسع في استخدام الألياف البصرية نورد في الشكل (٢-١٣) أطوال كابلات الألياف البصرية المركبة في الولايات المتحدة الأمريكية ونلاحظ ازدياد الكابلات المركبة في السنوات القليلة الماضية والتي تعدت خمسة ملايين كيلومتر .



الشكل (٢-١٣) كابلات الألياف البصرية المركبة في الولايات المتحدة على مدى سنوات

واختتمنا هذا الفصل باستعراض التطورات المستقبلية المبنية على اكتشافات حديثة تمت في السنوات القليلة الماضية والتي سيؤدي تطبيقها العملي إلى تغير جذري في مفهوم الاتصالات الحديثة .

الفصل الثاني

أسئلة

١ - هل تعتقد أن إنتشار شبكات الاتصالات البصرية سيلغي دور السواتل، علل ذلك؟

٢ - ماهي المكونات الأساسية لليف البصري وهل يمكن الحصول على ليف بدون كساء ولماذا ؟

٣ - ماهي السمات الرئيسية التي أدت إلى قلة تكلفة نظم الاتصالات البصرية؟

٤ - ما السبب في تأخر إستخدام الألياف البصرية في الاتصالات ؟

٥ - أذكر بعض إستخدامات الألياف البصرية في غير مجال الاتصالات؟

٦ - ماهي أوجه التشابه والفرق بين نظم الاتصال عبر الليف البصري ونظم الاتصالات الأخرى.

٧ - أذكر أنواع الألياف البصرية.

٨ - لماذا نستخدم ألياف بمعامل انكسار متدرج.

٩ - أذكر ثلاثة أنواع من الألياف البصرية حسب نوع مادة التصنيع؟

١٠- ماذا يحدث عندما يكبر لب الليف أو يصغر؟

١١- أذكر خمس ميزات للألياف البصرية ؟