

الفصل العاشر

قياسات الألياف البصرية

الفصل العاشر

قياسات الألياف البصرية

Optical Fiber Measurements

تبدأ قياسات الألياف البصرية قبل تصنيع الليف البصري حيث تفحص التشكيلة الأولية preform فحصاً دقيقاً للتأكد من دقتها هندسياً وتجانس معامل الانكسار فيها وإذا ثبتت عدم صلاحيتها لاتستخدم لانتاج الليف وخلال انتاج الليف يتولى المصنّع فحص سماكة وتركز concentricity اللب والطبقة الواقية .

ويتولى المصنّع أيضاً فحص العناصر والمكونات التي تستعمل في شبكة الإتصالات البصرية . والقياسات التي يتعرض لها الليف هي : التوهين ، عرض النطاق (الليف متعدد النمط) ، فتحة النفوذ العددية (لليف متعدد النمط) ، طول مرجحة القطع (لليف أحادي النمط) ، قطر الحقل النمطي (لليف أحادي النمط) ، تشتيت اللون chromatic dispersion ، الاستقطاب (لليف أحادي النمط) ، فقد الشئ ، القوة ، الاجهاد ، مقاومة الظروف البيئية (الحرارة ، الفمّر ، الهيدروجين ، الإشعاع النووي ، اللوي torsion إلخ .

تعمل هذه القياسات أو بعضها لفائدة المستفيد ، وقد يتولى بعض منها المصنّع وذلك حسب نوعية الاستخدام وشروط المستفيد ، ويستمر فحص الليف البصري بعد تصنيعه ضمن كابل بصري ، والعناصر الهامة في هذه الحالة هي التوهين ، عرض النطاق (الليف متعدد النمط) ، اللفظ crosstalk ، فقد التوصيل الدائم splicing loss ، شد الكابل مقارنة بشد الليف ومقاومة الكابل للظروف البيئية . بعد تركيب الكابل البصري تعمل القياسات التالية : التوهين ، تشتيت اللون (لليف أحادي النمط) عرض النطاق (لليف متعدد النمط) ، فقد التوصيل ، الاستقطاب ، القدرة الموصلة من المنبع ،

القدرة الموصلة للكاشف ، نسبة الإشارة إلى الضجيج ، معدل خطأ البتات BER .
وسبوجه هذا الفصل للمستفيد حتى يتمكن من التعرف على المعلمات parameters
اللازم قياسها وطرق التقييم المستخدمة ، وقد تكون أجهزة القياس ثابتة كما هو في
المختبرات والمصانع أو تكون محمولة كما هو الحال في الميدان، والأجهزة المحمولة عادة
ما تكون صغيرة وتعمل بالبطارية . وتستخدم بعض الأجهزة لقياس عدد من المعلمات
الوارد ذكرها ، وقد وضعت أسس لهذه القياسات تولت هيئات متخصصة وضع تفصيل
لشروط القياس لكل معكئة من المعكئات السابقة التي صدرت في الولايات المتحدة و
CCITT وهناك مواصفات مماثلة تصدر في أوروبا واليابان ، ويتركز الشرح في هذا
الفصل على القياسات القياسية standardized measurements .

١-١٠ قياسات القدرة Power Measurements

تعتبر قياسات القدرة من الأساسيات الهامة لطرق الاختبار المستخدمة في أنظمة
الألياف البصرية حيث تتغير القدرة مع الطول الموجي والوقت ، وقد تكون مستمرة أو
مشكلة بموجات تاملية أو رقمية كما أنها تتغير حسب الزاوية ومكان القياس بالإضافة
إلى تغيرها مع الاستقطاب .

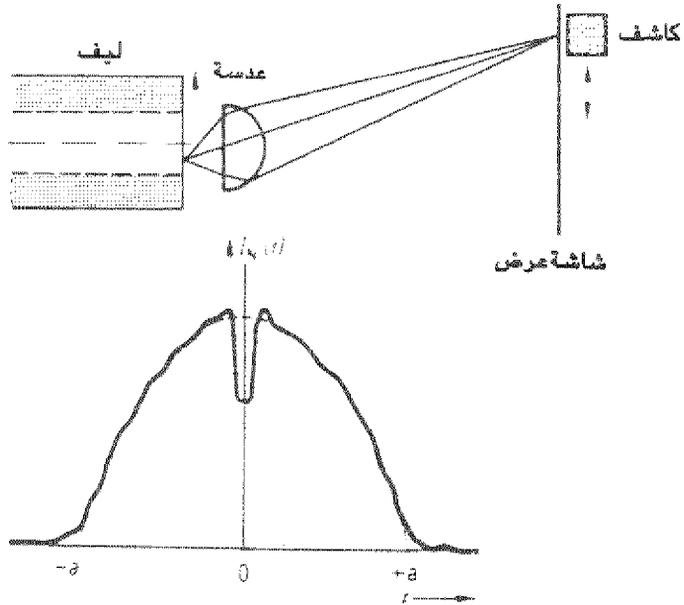
١-١-١٠ المصادر والكواشف Sources and Detectors

تعتبر لمبات هالوجين التنجستن (Tungsten Halogen) من أهم المصادر
المستخدمة لقياس القدرة في الألياف البصرية لاحتوائها على مدى واسع من الموجات وإذا
أردنا الحصول على طول موجي معين فما علينا إلا استخدام مرشح أو محزز الانعراج أو
محلل طيفي كي يمر اللون المرغوب ، أما الكاشف فعادة ما يكون من السليكون الحساس
حتى 1050nm وإذا كان الطول الموجي أكبر من ذلك يستخدم كاشف مصنوع من سبيكة
مكونة من الفوسفات والزرنيخ والجالسيوم والأنديموم (In Ga As P) . ويمكن استخدام
كواشف الجرمانيوم إذا كانت كثرة الضوضاء وقلة الحساسية الناتجة من كاشف الجرمانيوم

لا تؤثر كثيراً على النتيجة .

٢-١-١٠ توزيع الحقل Field Distribution

يتطلب استخدام نظام الاتصالات البصرية معرفة توزيع القدرة البصرية في الحقل القريب والبعيد وذلك لتحديد كمية القدرة الناتجة من المنبع والداخلة إلى الليف وكذلك القدرة الخارجة من الليف والداخلة للكاشف. إن قياس شدة الإضاءة يعتمد على المسافة من المنبع فإذا كانت المسافة قريبة جداً فإننا نتحدث عن توزيع القدرة أو شدة الإضاءة في الحقل القريب. وهناك نشرات عديدة توضح كيفية قياسها فعند قياس شدة الإضاءة قرب سطح ثنائي باعث للضوء LED أو نهاية ليف بصري ، فيمكن الرجوع إلى النشرة رقم (FOTP-43) والموضحة بالشكل (١-١٠) حيث نرى عدسة صغيرة وضعت أمام المصدر لتكبير مساحة الانبعاث، ويستخدم كاشف أو مجموعة كواشف لمعرفة توزيع الحقل.



الشكل (١-١٠) قياس توزيع الحقل القريب

أما إذا كانت مسافة القياس بعيدة عن المصدر فإننا نتحدث عن توزيع الحقل البعيد ونوضح ذلك في الشكل (١٠-٢ أ) ويمكن الرجوع إلى النشرة رقم (FOTP-47) لمزيد من التفاصيل . حيث أن المسافة Z بين الكاشف والباعث للضوء بقطر d يجب أن تحقق في المعادلة التالية :

$$Z > \frac{(10 d)^2}{\lambda} \dots\dots\dots (10.1)$$

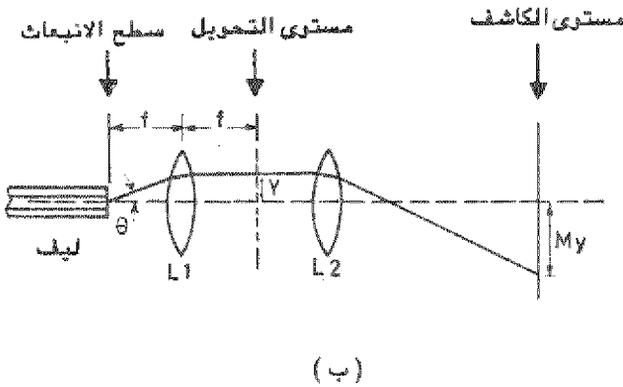
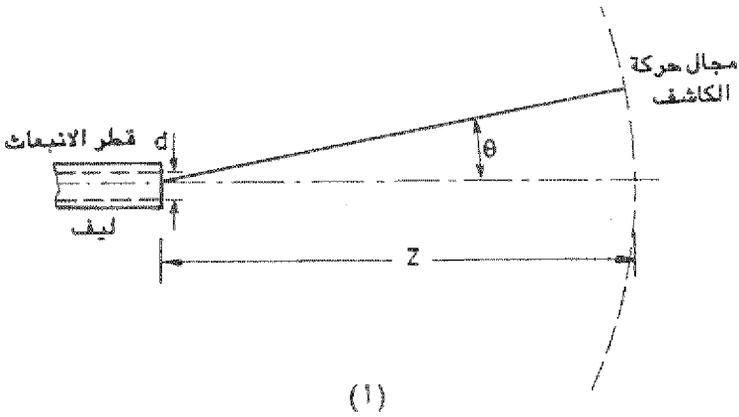
حيث أن :

λ هو طول موجة الضوء المستخدم ، و d هو قطر الليف متعدد النمط أو قطر الحقل النمطي لليف أحادي النمط .

والشرط المذكور في المعادلة (10.1) يضمن أن المنبع يبدو للكاشف كنقطة أو مصدر صغيراً جداً . ولإعطاء القاريء فكرة عن قيمة Z في المعادلة (10.1) نفرض أن $d=10\text{mm}$. لنحصل على $Z = 1.2\text{m}$ ، فإذا قلت d عن القيمة السابقة فإن Z ستقل أيضاً للإلتلال من هذه المسافة يمكن استخدام البديل المذكور في الشكل (١٠-٢ ب) والتي تعبر عنها المعادلة التالية :

$$Y = f \sin \theta \dots\dots\dots (10.2)$$

حيث أن : f هو البعد البؤري للعدسة ، θ هي زاوية الحقل البعيد ، Y موقع القياس في تحويل " فورير " . وعند استخدام الليف البصري في القياس أو نظم الإتصالات البصرية لا بد من تحضير النهايات بصورة جيدة (النشرة FOTP-57) ، حيث نبدأ بإزالة الغلاف الواقي إما بإداة تسليخ الغلاف أو بمحلول كيميائي وربما بالحرق وذلك حسب نوع الليف وتوصيات المصنع . بعد ذلك تتم صنفرة وصلل النهايات وتفحص بواسطة ميكروسكوب للتأكد من نعومتها أو بالامكان تسليط أشعة ليزر الهليوم نيون على السطح المصقول وملاحظة الضوء المنعكس من الليف والساقط على سطح يعهد مسافة معينة من الليف . أو بالامكان استخدام ميكروسكوب تداخل interference microscope (النشرة FOTP-179) لمعرفة نعومة السطح .



الشكل (٢-١٠) توزيع القدرة للحقل البعيد

(أ) الطريقة القياسية

(ب) طريقة بديلة تستخدم العدسات لقياس حقل القدرة البعيد

٣-١-١٠ فقد القدرة في الليف البصري Optical Fiber Power Loss

يتطلب تصميم نظام الاتصالات البصري معرفة القدرة الداخلة والقدرة الخارجة والفرق بينهما يحدد مقدار الفقد في النظام . ولا بد من التعرف على أسباب الفقد وكيفية الاقلال منه .

أ - التوهين Attenuation

يعرف التوهين على أنه الفقد في قدرة الإشارة المارة بالليف. وهناك سببان رئيسان للتوهين هما الامتصاص absorption والتناثر scattering ويعرف الامتصاص على أنه تحويل الضوء إلى حرارة ، وهناك نوعان من الامتصاص أحدهما داخلي والآخر خارجي . يتم الامتصاص الداخلي نتيجة انتقال الألكترونات بين نطاق التكافؤ ونطاق التوصيل والذي يقع عند $\lambda = 140\text{nm}$ ، ويمثل الامتصاص فوق البنفسجي أو نتيجة حركة الجزيئات، والذي يبلغ حده الأقصى عند $8\mu\text{m}$ وهو الامتصاص الحراري.

أما النوع الآخر وهو الامتصاص الخارجي ويشمل الامتصاص نتيجة وجود الشوائب كأيونات OH في مادة السليكا التي تبلغ ذروة اهتزازها عند $\lambda = 2700\text{nm}$ وكذلك عند $\lambda = 1385\text{nm}$ و $\lambda = 1245\text{nm}$ ولكن بصورة أقل. قد يحصل الامتصاص الخارجي أيضاً نتيجة امتصاص الهيدروجين أو بعض المشاكل الأخرى خلال التصنيع . أما التناثر فهو تحويل الضوء المحصور في الليف البصري إلى موجات متسربة أو مشعة أو عشوائية وقد يحصل التناثر الداخلي نتيجة تغير معامل الانكسار على مستوى الجزيئ ، أو نتيجة الحرارة، أو تراوح التركيب لمكونات الليف البصري . كما قد يحصل التناثر نتيجة تغير شكل توزيع معامل الانكسار أو التني . ويدعى هذا بالتناثر الخارجي . أياً كانت المؤثرات أو الأسباب فالكمية التي تقاس دائماً هي التوهين .

فلو فرضنا أن طول الليف هو L_1 كيلومتر و $\alpha(L)$ معامل التوهين (dB/Km) فإن اضمحلال القدرة بين L_1 و L_2 ($L_2 > L_1$) يعبر عنه بالتالي :

$$P(L_2) = P(L_1) 10^{-A/10} \dots\dots\dots (10.3a)$$

حيث أن التوهين الكلي هو

$$A = \int_{L_1}^{L_2} \alpha(L) dL \text{ dB} \dots\dots\dots (10.3b)$$

والوحدات المستخدمة للقدره P هي الواٲ أو المللي وات أو الميكروات .
 من المعادلة (10.3 a) يمكن التعمير عن التوهين الكلي بين نقطتي القياس
 بالمعادلة التالية :

$$A = 10 \log \frac{P(L_1)}{P(L_2)} \text{ dB} \dots\dots\dots (10.4)$$

إذا كان التوهين ثابتاً لكل وحده طول فإن معامل التوهين α يعبر عنه بالتالي :

$$\alpha = \frac{A}{L_2 - L_1} \text{ dB/km} \dots\dots\dots (10.5a)$$

وباستخدام المعادلة (10.4) فإن :

$$\alpha = \frac{10}{L_2 - L_1} \log \frac{P(L_1)}{P(L_2)} \dots\dots\dots (10.5b)$$

به - طرق قياس التوهين Attenuation Measurement Methods

تستخدم ثلاث طرق لقياس التوهين في الليف البصري وهي :-

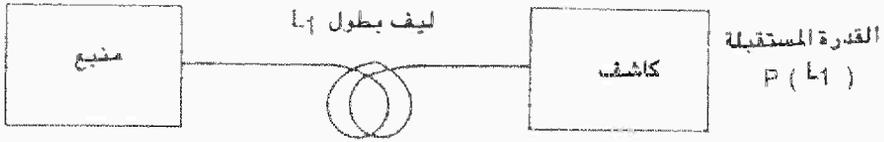
- (١) طريقة القطع .
- (٢) طريقة الإدخال أو التعمير .
- (٣) طريقة التناثر العكسي .

(١) طريقة القطع Cutoff Method

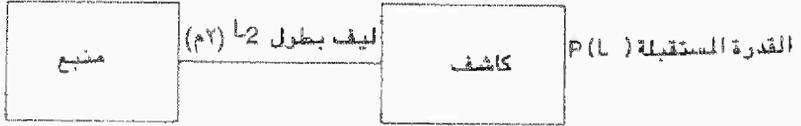
يوضح الشكل (١٠-٣) هذه الطريقة ، حيث تقاس القدرة البصرية في بداية الأمر عند نهاية الليف البصري ولنقل عند النقطة L_2 ثم يقطع الليف في نقطة قريبة من المصدر (حوالي مترين) وتقاس القدرة عند النقطة ولنقل L_1 ، فيصبح عندنا قيمتين للقدرة وطول الليف البصري بين L_2 ، L_1 . ولا بد من التأكيد على ابقاء شروط اتصال الضوء للليف كما هي وعدم تغيير الطول الموجي للمصدر . باستخدام المعادلة (10.4) يمكن إيجاد التوهين A:

ومعامل التوهين α يوجد من المعادلة (10.5).

لاتخلوا هذه الطريقة من مشاكل عملية حيث تتطلب قطع الليف والتخلص من الوصلة القصيرة (مترين) بعد قياس التوهين وتحضير النهايات للقياس ، وقد تصلح هذه الطريقة للمختبر أو المصنع ولكنها لاتصلح للقياس في الميدان العملي .



(1)



(ب)

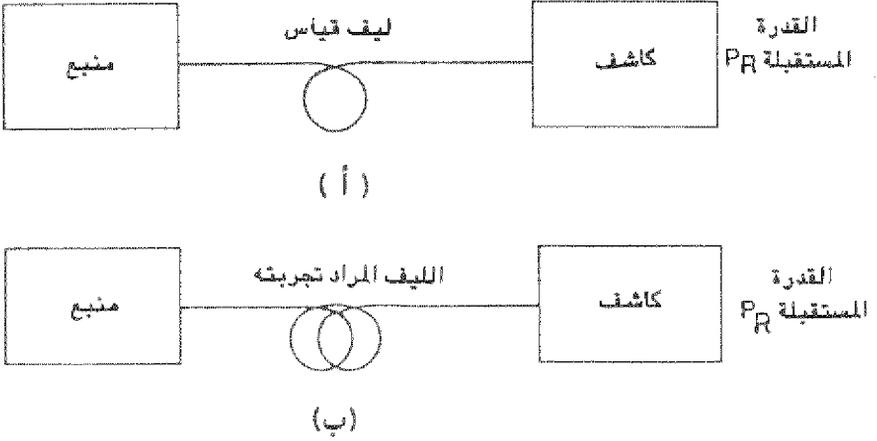
الشكل (١٠-٣) قياس التوهين بطريقة القطع (FOTP - 46)

(٢) طريقة الإدخال والتصويبن Insertion or Substitution Method

تتفادى هذه الطريقة مساويء الطريقة السابقة حيث يستخدم في هذه الطريقة (الشكل (١٠-٤)) نوعان من الليف أحدهما قياسي والآخر الليف المراد قياس توهينه . في بداية الأمر يتم تركيب الليف بين المنبع والكاشف وتقاس القدرة عند الكاشف ولتكن P_R كما في الشكل (١٠-٤ أ) ثم يستبدل بالليف المراد قياس توهينه ولا بد من التأكيد على ضرورة إيصال الضوء من المنبع إلى الليف وكذلك الطول الموجي للضوء بنفس الطريقة التي تم عند استخدام الليف القياسي . تقاس القدرة عند الكاشف P_T كما في الشكل (١٠-٤ ب) . يعبر عن توهين الليف A_T بالمعادلة التالية :

$$A_T = A_R + 10 \log \frac{P_R}{P_T} \dots \dots \dots (10.6)$$

حيث أن A_R هو توهين الليف القياسي . ولا بد من الإشارة إلى أن الليف القياسي له مواصفات شبيهه بالليف المراد قياس توهينه .



الشكل (١٠ - ٤) قياس التوهين بطريقة الإدخال والتعويض (FOTP - 53)

(٣) طريقة التناثر العكسي Backscattering Method

يتم في هذه الطريقة إرسال الضوء واستقباله من نهاية واحده لليف كما في الشكل (١٠-٥)، حيث تعتمد طريقة القياس هذه على التناثر العكسي نتيجة تناثر رالي Rayleigh scattering . وعند قياس قدرة الموجات الراجعة يؤخذ بعين الاعتبار توهينها أثناء الرجوع . ومن خلال قياس قدرة الضوء المنعكس وزمن الانتقال time يمكن معرفة معامل التوهين على طول الليف البصري كما في الشكل (١٠-٦) . إن قيمة التناثر العكسي في بداية الليف عالية للاختلاف في قيمة معامل الانكسار . ويقاس الزمن Δt بين القيمتين، يمكننا إيجاد طول الليف المقاس حيث أن :

السرعة = $\frac{\text{المسافة}}{\text{الزمن}}$ ، وحيث أن الزمن الكلي للذهاب والمجيء هو Δt ، فيمكن

التعبير عن طول الليف L بالتالي :

$$L = \frac{\Delta t}{2} \cdot \frac{c}{n}$$

حيث أن : طول الليف بالكيلومتر $L =$

الزمن بين النبضة الأولى والأخيرة بالثانية $\Delta t =$

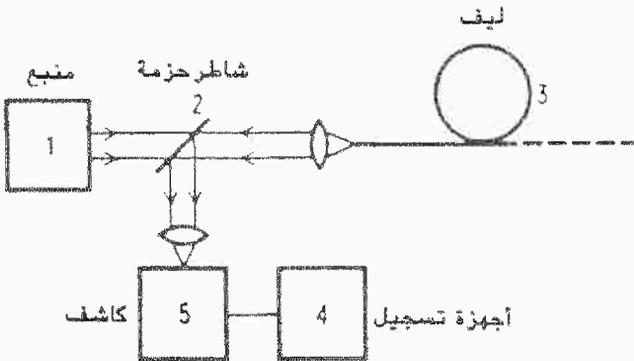
سرعة الضوء. $c = 3 \times 10^8$ m/s

معامل الانكسار $n =$

ومعامل التوهين $\alpha :$

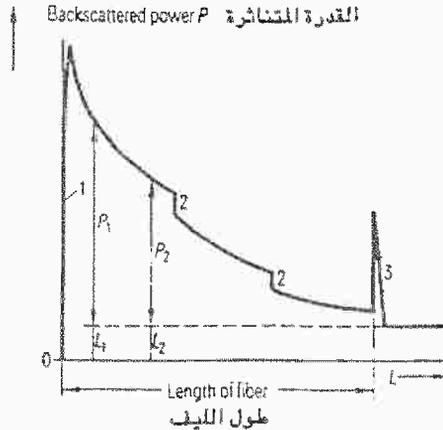
$$\alpha = \frac{5}{L_2 - L_1} \log \frac{P(L_1)}{P(L_2)} \dots \dots \dots (10.7)$$

نلاحظ أن الرقم 10 استبدل بالرقم 5 في هذه المعادلة لأن الضوء يذهب ويرجع ثانية .
ولا بد من التأكيد على أن هذه المعادلة صحيحة إذا كانت قيم معامل التناثر وفتحة النفوذ
العديدية وقطر اللب على طول الليف ثابتة .



الشكل (١٠-٥) قياس التوهين بطريقة التناثر العكسي

نظراً لأن القدرة المتعكسة قليلة جداً مما يتطلب استخدام مستقبل بحساسية عالية .
وتستخدم لهذا الغرض أجهزة تدعى optical time domain reflectometer
OTDR ، بالإضافة إلى قياس التوهين يمكنها أن تحدد مواقع الكسور fractures
والفقد نتيجة الموصلات والمقارن والتوصيلات الدائمة .
ولا بد من الإشارة إلى أن التوهين الكلي يمكن قياسه بمعرفة مقدار القدرة الضوئية
المرسلة من المنبع ومقدار القدرة الضوئية المستلمة عند الكاشف، ولكنها لاتعطينا مقدار
الفقد في العناصر المختلفة للليف كما الموصلات والمقارن وغيرها . ولزبد من المعلومات عن هذه
الطريقة يمكن الاطلاع على المواصفات الوطنية الألمانية رقم DIN VDE 0472 الجزء
252 ، والمواصفات العالمية رقم ورمز C_1, C_2 - IEC 793-1 ، أما طريقة التناثر العكسي
فيمكن الرجوع إلى النشرات التالية : DIN VDE 0472 الجزء 251 و - IEC 793-1
، والنشرات ذات العلاقة المذكورة في آخر الفصل وهي FOTP-59 ،
FOTP- 60 ، FOTP-61 و .



الشكل (١٠-٦) منحني قياس التناثر العكسي . التناثر العكسي في بداية الليف عند الرقم 1
والتناثر العكسي عند الوصلات عند الرقم 2 والتناثر العكسي في نهاية الليف عند الرقم 3

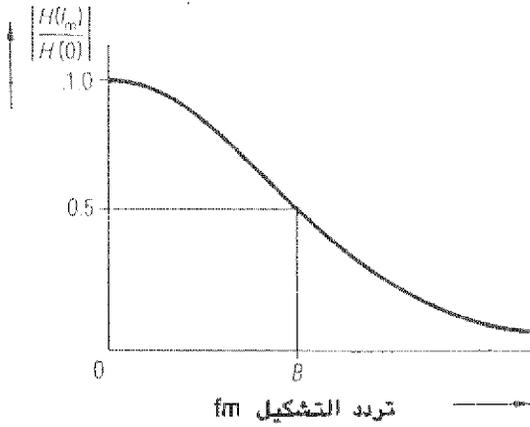
١٠-٢ عرض النطاق Bandwidth

يشكل عرض النطاق العنصر الثاني من حيث الأهمية لمصرفة خصائص نقل المعلومات عبر الليف البصري ، وعادة ما يستخدم حاصل ضرب عرض النطاق في مسافة النقل . يعطي التوهين مقدار فقد القدرة عبر الليف البصري بينما يعطي عرض النطاق مؤشراً عن التشتيت في الليف البصري حيث يؤدي التشتيت إلى توسعة النبضات وشغلها لحيز كبير مما يؤدي إلى تداخلها . ويحد ذلك من عدد الترددات فهذا يعني أن الليف البصري يبدو كمرشح تمرير منخفض low pass filter أي أن اتساع الموجه الضوئية ينخفض بازدياد ترمده التشكيل fm لذا فإن الليف البصري يسمح بمرور الترددات المنخفضة ويزداد التوهين بازدياد التردد إلى أن تختفي الإشارة . بقياس اتساع القدرة الضوئية عند ترددات التشكيل في بداية الليف $P_1(fm)$ ونهايته $P_2(fm)$ وإيجاد نسبة الاتساع في الحالتين نعبر عن دالة النقل بالتالي :

$$H (fm) = \frac{P_2(fm)}{P_1(fm)} \dots\dots\dots (10.8)$$

حيث أن $H (fm)$ بدلالة (fm) . وعادة ما تقاس $H (fm)$ بتقسيمها على $H (o)$ حيث أن $H (o)$ هي دالة النقل عند $fm = 0Hz$ أي بدون تشكيل عادة ما يكون شكل دالة النقل في الليف البصري جاوسي Gaussian كما في الشكل (١٠-٧) حيث يقاس عرض النطاق بين نقطتين الأولى عندما تكون القدرة الضوئية بدون تشكيل ($fm = 0Hz$) والثانية عندما تكون القدرة الضوئية لتردد التشكيل نصف القدرة الضوئية قبل التشكيل أو تسمى 3 db point ويعبر عنها بالتالي :

$$\frac{H (fm = B)}{H (o)} = 0.5 \dots\dots\dots (10.9)$$



الشكل (٧-١٠) دالة التحويل للييف بصري

١-٢-١٠ قياس عرض النطاق Bandwidth Measurements

يتأثر عرض النطاق بعوامل كثيرة من أهمها المنظر الجانبي أو شكل معامل الانكسار والذي يمكن إيجاده للييف متعدد النمط وأحادي النمط (النشرة FOTP-44) ، أو استخدام القياسات الخاصة بالحقل القريب لمعرفة توزيع القدرة حيث هناك علاقة بين توزيع القدرة وشكل معامل الانكسار $n(r)$ (النشرة FOTP-43) ، وهل يسمح بحصول تشتيت نمطي أم لا؟ أما العامل الآخر فيتعلق بإيصال القدرة البصرية للييف البصري وعدد الأنماط الممكن إثارها في اللييف من خلال زاوية سقوط الضوء وفتحة النفوذ العددية ، ولزيد من التفاصيل يمكن الرجوع إلى النشرات رقم ، (CCITT G650 , FOTP-177 , FOTP-43 , FOTP-54) .

سبق وأن ذكرنا أن قيم التوهين تتناسب طردياً مع طول اللييف البصري . وهذا صحيح تحت شروط معينة لقياس عرض النطاق . وفي الواقع لمجد أن اعتماد عرض النطاق على طول اللييف يمكن التعبير عنه بالمعامل γ والذي يعتمد على طول اللييف وفي هذه الحالة يمكن استخدام المعادلة التالية :

$$\frac{B}{B_1} = \left(\frac{L}{L_1} \right)^{-\gamma} \dots\dots\dots (10.10)$$

حيث أن : B : عرض نطاق النظام (MHz)

B_1 : عرض نطاق الليف عند L_1 (MHz)

L : طول الليف البصري (km)

L_1 : طول الليف L_1 عادة ما يكون 1km عند عرض نطاق B_1

γ : عامل

وتتراوح قيمة γ بين 1 في بداية الليف البصري وتصل إلى 0.5 للمسافات الطويلة . وفي المسافات المتوسطة تتراوح بين 1.0 و 0.5 . والطريقة الوحيدة لقياس γ عملياً تتم عن طريق قياس عرض النطاق بدلالة طول الليف L مما يعني قطع الليف إلى قطع صغيرة وهو حل غير عملي ، وغير مقبول . لذا لا بد من اللجوء إلى طرق أخرى لمعرفة عرض النطاق B وقيمة دالة التحويل H(fm) وتستخدم لذلك طريقتان (١) القياس في مجال التردد

. Measurement in the frequency domain

(٢) القياس في مجال الزمن Measurement in the time domain

(١) القياس في مجال التردد

سبق أن ذكرنا عند تعريف دالة التحويل أن قيمة قدرة الضوء لتردد التشكيل fm تتغير مع التردد fm وتنخفض كلما ابتعدنا عن المركز كما هو في الشكل (١٠-٧) . وعندما تصل قيمة القدرة الضوئية إلى النصف فهذا يعني أن هذا هو الحد الأعلى لتردد التشكيل fm . أي لو أن القدرة المرسل من المرسل هي P_1 (fm) بحيث أن قيمة هذه القدرة تظل ثابتة ولا تتأثر بالتردد ، فإن عرض النطاق يمكن معرفته بقياس قيمة القدرة عند جهاز الاستقبال حيث تسجل قيمته بدون تشكيل ، ثم تبدأ بتغيير قيمة التردد إلى أن تنخفض قيمة القدرة الضوئية P_2 (fm) إلى النصف ، يمثل هذا التردد عرض النطاق B ويسمى عرض النطاق البصري 3dB (يعادل هذا -6dB الكهربائي) ويمكن معرفة تفاصيل أكثر عن طريقة القياس هذه بالاطلاع على النشرة (30 - FOTP) .

(٢) القياس في مجال الزمن

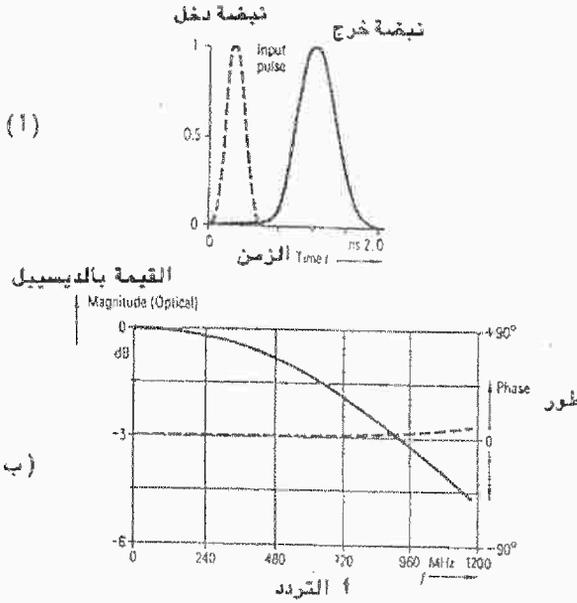
تستخدم هذه الطريقة لقياس توسع broadening النبضات الزمني بسبب التشتيت . لذلك تستخدم نبضات قصيرة (100ps) لتجربة الليف البصري، نظراً لوجود التشتيت المادي والنمطي material and modal dispersion فإن هذه النبضات تتسع عند عبورها خلال الليف البصري . وتستقبل هذه النبضات بواسطة الكاشف في جهاز الاستقبال وتكبر ثم تظهر على شاشة راسم ذبذبات العينات sampling oscilloscope مربوط بجهاز الاستقبال . ثم تجرى هذه التجربة على ليف بصري بطول مترين لمعرفة النبضة الداخلة لليف . فإذا كان جذر متوسط مربع عرض النبضة الداخلة root mean square هو τ_1 وجذر متوسط مربع عرض النبضة الخارجة τ_2 فإن التوسع في جذر متوسط مربع النبضة هو :

$$\Delta\tau = \sqrt{\tau_2^2 - \tau_1^2} \dots\dots\dots (10.11)$$

ويعبر عن عرض النطاق تقريباً بالمعادلة التالية :

$$B = \frac{0.35}{\Delta\tau} \dots\dots\dots (10.12)$$

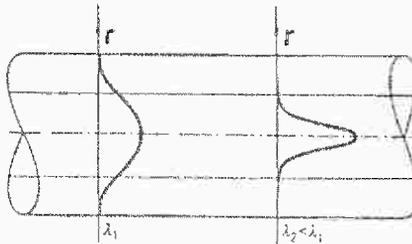
إذا كان شكل النبضة جاوسي ، ولمعرفة عرض النطاق في المجال الترددي بدقة أكثر لا بد من عمل تحويل فوريير للنبضات من المجال الزمني إلى المجال الترددي وهذا يتطلب معرفة مقدار وطور دالة التحويل لنبضات الدخل والخروج ، حيث أن انخفاض مقدار دالة التحويل إلى النصف عند تردد معين يعني أن هذا التردد يمثل عرض النطاق ، ونرى في الشكل (١٠-أ) نبضات زمنية مقاسة وفي الشكل (١٠-ب) دالة التحويل . ولمزيد من التفاصيل يمكن الرجوع إلى النشرات رقم DIN VDE 0472 Part 253 و IEC 793-1-C4 and C5 والنشرات ذات العلاقة المذكورة في آخر الفصل .



الشكل (١٠ - ٨) قياس عرض النطاق في مجال الزمن

٣-١٠ تشتت اللون Chromatic Dispersion

تختلف سرعة مرور الموجات الضوئية خلال الليف البصري باختلاف أطوال موجاتها حيث أن معامل الانكسار يتغير بتغير الطول الموجي. أياً كان المنبع الضوئي المستخدم، فإن الضوء المنبعث ليس له طول موجي واحد بل عدة أطوال موجية $\Delta\lambda$ ، ويسمى بعرض الطيف spectral width وهذه الخاصية لمادة السليكا تؤدي إلى تشتت الموجات عند مرورها بالليف ويسمى هذا التشتت بالتشتت المادي material dispersion وتختلف قيمته باختلاف الطول الموجي للضوء المار في الليف البصري.

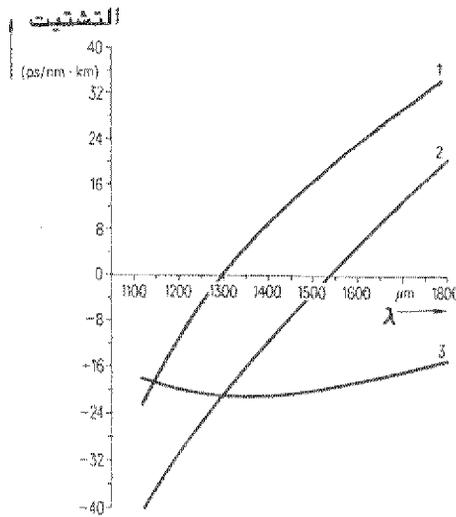


الشكل (١٠ - ٩) توزيع الطاقة للتمدد الأساسي لطولين موجيين مختلفين

وهناك نوع آخر من التشتيت له أهمية في الليف أحادي النمط حيث يتسع انتشار الموجات المارة بالليف كلما زاد الطول الموجي، أي أن الموجات ذات الطول الموجي العالي يتسع انتشارها فيخرج جزء منها لينتشر خلال الكساء، الشكل (١٠-٩). حيث أن معامل الانكسار فيها أقل من اللب وحيث أن سرعة الموجات تعتمد على معامل الانكسار، فإن الجزء المار بالكساء يسير بسرعة أعلى من الجزء المار باللب، وهذا يؤدي إلى تشتيت الموجة ويسمى هذا بتشتيت الدليل الموجي waveguide dispersion وباستخدام المعادلات المذكورة بالفصل الرابع نجد أن مجموع التشتيت المادي وتشتيت الدليل الموجي يعطي تشتيت اللون Mc -

$$M_c(\lambda) = M(\lambda) + M'(\lambda) \dots\dots\dots (10.13)$$

عند طول موجي معين λ_0 تتعادل قيمة التشتيت المادي وتشتيت الدليل الموجي. وحيث أن أحدهما موجبة والأخرى سالبة، نحصل على قيمة تشتيت تساوي صفر. ونرى في الشكل (١٠-١٠) منحنيات التشتيت حيث أن التشتيت يساوي صفر عند $\lambda = 1300 \mu\text{m}$ والتشتيت المزاح يساوي صفر عند $\lambda = 1500 \mu\text{m}$



الشكل (١٠-١٠) منحنيات التشتيت في ليف أحادي النمط
(١) تشتيت المادة (٢) تشتيت اللون
(٣) تشتيت الدليل الموجي

١-٣-١٠ طرق قياس تشتيت اللون Measumememats Methods of Chromatic Dispersion

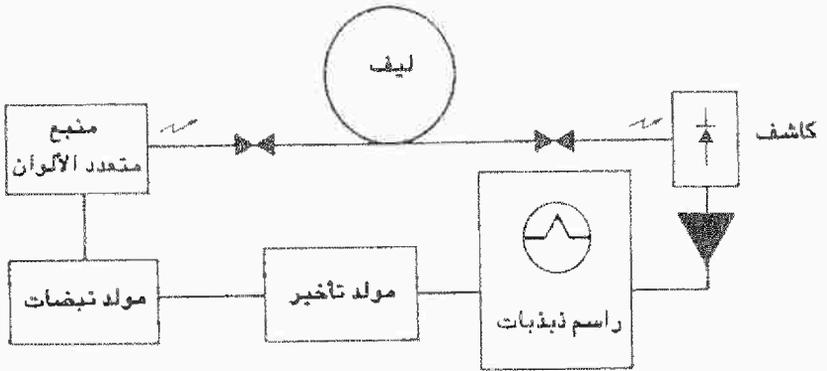
توجد طرق عديدة لقياس تشتيت اللون وتشمل (١) إرسال نبضات قصيرة في ألياف طويلة وقياس توسع النبضات (٢) مسح التردد frequency sweeping . (٣) استخدام نظام تخفيقي heterodyne والتماسك coherence (٤) نظام التداخل interferometry للألياف القصيرة ، وقد وضعت مواصفات قياسية وصنعت أجهزة للمقياس بهذه القياسات .

يتطلب إنجاز قياسات التشتيت وجود منابع تصدر موجات بأطوال مختلفة . وللقياس في مجال الزمن يستخدم منبع ضوئي مكون من ليزر Nd - YAG (نيوديميوم - اتريوم المونوم جارنت) يرسل نبضات بأطوال موجية مختلفة مع ليف رامن raman غير خطي كما في الشكل (١٠-١١) ، حيث يسقط شعاع الليزر على وصلة ليف أحادية النمط مشبعة بالشوائب بطول يبلغ عدة مئات من الأمتار للحصول على تناثر رامن Raman scattering . وباستخدام وحيد اللون monochromator تحصل على اللون المراد ، ويطلق launched على الليف البصري تحت التجربة (النشرة FOTP-168) . فإذا كانت $\Delta\tau(\lambda)$ تمثل الفرق في التأخير لفرق في الطول مقداره L فإن مجموع التأخير لكل وحدة طول هو :

$$\frac{\Delta\tau(\lambda)}{L} \dots\dots\dots (10.14)$$

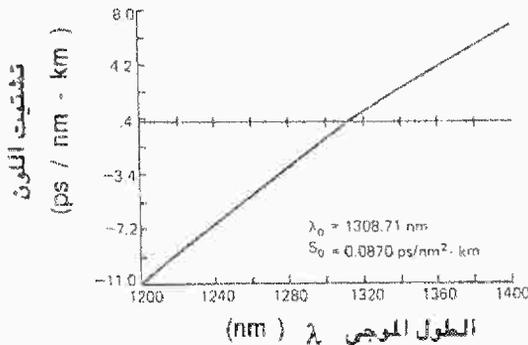
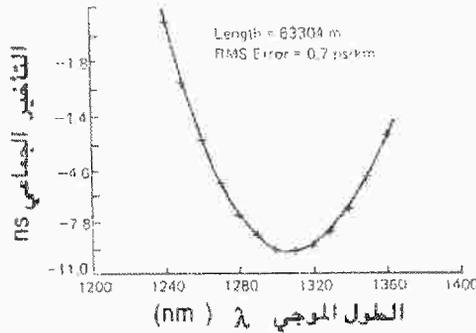
وحيث أن معامل تشتيت اللون $M_c(\lambda)$ يرتبط بالتأخير τ بالمعادلة التالية :

$$\Delta(\tau/L) = M_c(\lambda) \Delta\lambda \dots\dots\dots (10.15)$$



الشكل (١٠ - ١١) قياس تشتيت اللون بالتأخير الزمني

نستطيع من المعادلة (10.15) إيجاد قيمة معامل تشتيت اللون ونرفق في الشكل (١٠-١٢) منحنيات للتأخير الجماعي مع الطول الموجي ومعامل تشتيت اللون مع الطول الموجي للليف بطول 63km. للإطلاع على مزيد من طرق قياس التشتيت يمكن الرجوع إلى النشرات (FOTP-169, IEC793-1-C5 , DIN VDE 0472, FOTP-175)



الشكل (١٠ - ١٢) التأخير الجماعي وتشتيت اللون للليف بطول 63 km

١-٤-١٠ Cutoff wavelength طول موجة القطع

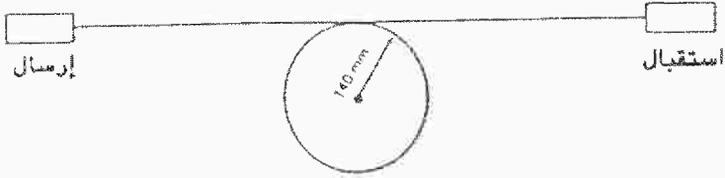
يشكل الطول الموجي أحد العناصر التي تحدد عدد الأنماط الممكن انتشارها في الليف البصري . ويعرف طول موجة القطع λ_c بأنه أقل طول موجي يمكن مروره خلال الليف، أي أن الليف يصبح أحادي النمط لقيم λ أكبر من λ_c . ومتعدد النمط لقيم λ أقل من λ_c . لذا يجب معرفة الطول الموجي λ_c الذي يمكن من انتشار الموجة الأساسية . سبق أن ذكرنا أن عدد الأنماط الممكن انتشارها في الليف متعدد النمط ومتدرج معامل الانكسار هو :

$$N = \left(\frac{\pi a}{\lambda} \right)^2 (n_1^2 - n_2^2) \dots\dots\dots (10.16)$$

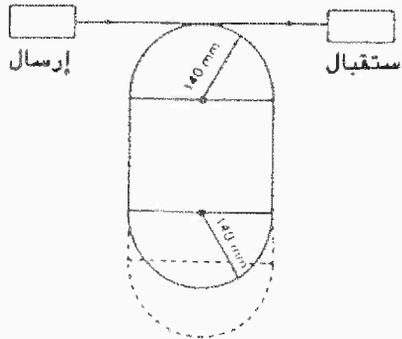
من هذه المعادلة نرى أن عدد الأنماط يقل بازدياد الطول الموجي، ويقل بصغر قطر الليف وكذلك الفرق بين معامل انكسار الليف n_1 ومعامل انكسار الكساء n_2 . للحصول على ليف بصري بنمط واحد نستخدم الطول الموجي $\lambda = 1300 \text{ nm}$ كما يكون تشتيت اللون صفراً ، وقطر الليف يصل إلى $10 \mu\text{m}$ أو أقل والفرق بين n_1 و n_2 يصل إلى 0.35% بدلاً من 1% أو 2% .

١-٤-١٠-١ طرق قياس طول موجة القطع Measurements Methods of Cutoff Wavelength

تستخدم طرق عديدة لقياس طول موجة القطع للليف أحادي النمط أو مزدوج النمط وذلك بقياس الحقل القريب والحقل البعيد ، وفصل النبضات والاستقطاب و التماسك coherence ونقل القدرة الضوئية . وقد اعتمدت المواصفات القياسية FOTP-80 و DIN VDE 0472 Part 225 و IEC 793-1-C7A والتي تعتمد على نقل القدرة الضوئية لقياس طول موجة القطع ، حيث يستخدم لهذا الغرض ليف بطول مترين وبثني نصف قطر 140mm ويعمل بإحدى الطريقتين ، ففي الشكل (١٠-١٣ أ) تستخدم لفة واحدة أو كما في الشكل (١٠-١٣ ب) نستخدم بكرة منفصلة يلف حولها الليف .



(١)



(ب)

الشكل (١٠ - ١٣) قياس موجة القطع بصري

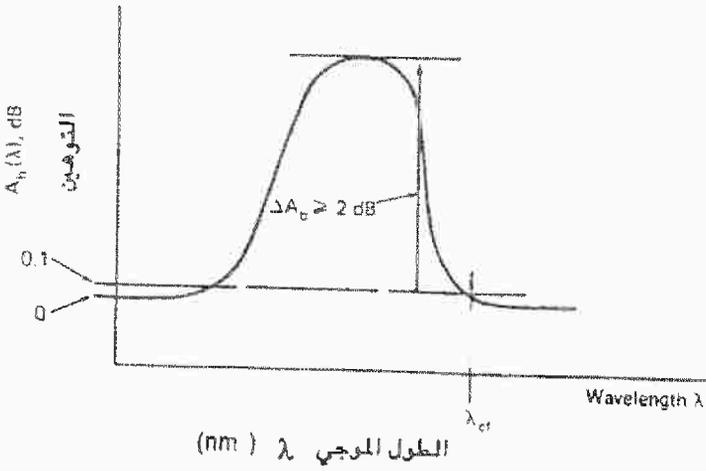
(أ) لفة واحدة (ب) بكره (FOTR80)

تقاس القدرة المرسله $P_s(\lambda)$ عندما يكون نصف قطر الشني 140mm أو أكثر ثم يثنى أكثر حتى يصل نصف القطر إلى 60mm أو أقل بحيث يتم منع النمط الثانوي وتقاس القدرة $P_b(\lambda)$ ونحصل على توهين الشني من المعادلة التالية :

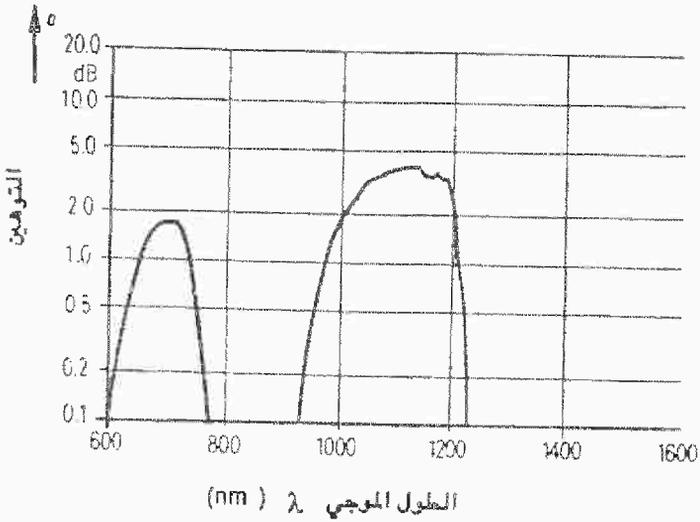
$$Ab(\lambda) = 10 \text{ Log } \frac{P_s(\lambda)}{P_b(\lambda)} \dots\dots\dots (10.17)$$

كما في الشكل (١٠-١٤) فإن موجة القطع هي أطول موجة تكون عندها قيمة التوهين تساوي 0.1dB ويتغير التوهين $Ab(\lambda)$ بتغير قيمة λ كما في الشكل

(١٠-١٥).



الشكل (١٠-١٤) تغير التوهين بتغير λ باستخدام طريقة الشني



الشكل (١٠-١٥) إيجاد طول موجة القطع بطريقة الشني

١٠ - ٥ خواص التوصيل والوصل الدائم Connection and Splicing Properties

تتأثر وصلات الألياف البصرية بعوامل عديدة تؤدي إلى فقدان القدرة في الوصلة، وقد تكون هذه العوامل داخلية أو خارجية. فالعوامل الداخلية قد تنجم عن عدم تطابق الألياف على جانبي الموصل أو عدم توسط اللب أو عدم استدارة الكساء. وبالنسبة للألياف متعددة النمط فإن العوامل الهامة هي عدم استدارة اللب وعدم تطابق أشكال معامل الانكسار أو قطر اللب أو فتحة النفوذ العددية مما يؤدي إلى فقدان القدرة. أما بالنسبة لليف أحادي النمط، فهذه العناصر هي عدم استدارة الحقل النمطي وعدم تطابق قطر الحقل النمطي عند ربط الألياف مع بعضها. أما الأسباب الخارجية فتتركز في أطراف الليف، حيث تؤدي خشونة النهايات وتباعد الأطراف أو انحرافها عن بعض إلى فقدان القدرة، كما أن المقارن والوصلات الدائمة تؤدي إلى فقدان القدرة. وستعرض إلى هذه العوامل في البنود القادمة.

١٠-٥-١ هندسة الليف Fiber Geometry

تتوزع القدرة البصرية في الليف متمددة النمط بنفس توزيع معامل الانكسار، لذا يمكن استخدام طريقة قياس الحقل القريب لمعرفة المنظر الجانبي أو شكل معامل الانكسار لليف البصري حيث يستخدم منبع ضوئي أبيض (لمبة هالوجين مثلاً) لإنارة مقطع ليف بصري قصير بحيث تثار كافة الأنماط بصورة متساوية. ويمكن التخلص من أنماط الكساء بإزالة الكساء وعلى الجانب الآخر كما في الشكل (١٠-١) يتم قياس شدة الاضاءة عبر مقطع الليف البصري باستخدام عدسة وحاسوب ومسح مقطع الخيال Image يمكن معرفة أطراف اللب والكساء، وتمركز اللب وعدم استدارة اللب والكساء، كما في الشكل (١٠-١٦) حيث أن:

$$d_e = \frac{d_{\max} + d_{\min}}{2} \quad \text{قطر اللب} \quad (10.18a)$$

$$D_c = \frac{D_{max} + D_{min}}{2} \quad \text{قطر الكساء} \dots\dots\dots (10.18b)$$

$$e_c = \frac{d_{max} - d_{min}}{d_o} \times 100 \% \quad \text{عدم استدارة اللب} \dots\dots\dots (10.18c)$$

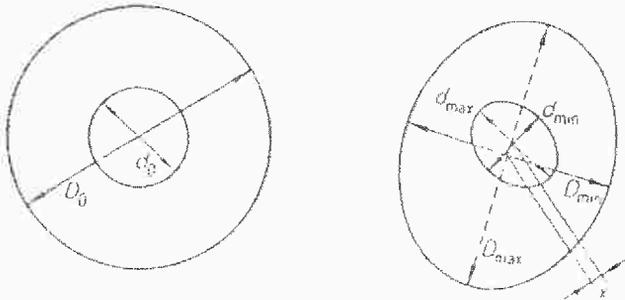
$$E = \frac{D_{max} - D_{min}}{D_o} \quad \text{عدم استدارة الكساء} \dots\dots\dots (10.18d)$$

$$C_y = \frac{x_c}{d_c} \times 100 \% \quad \text{التمرکز} \dots\dots\dots (10.18e)$$

حيث أن :

d_c	قطر اللب
D_c	قطر الكساء
e_c	عدم استدارة اللب
d_o	قطر اللب إذا كان دائري
E	عدم استدارة الكساء
D_o	قطر الكساء إذا كان دائري
C_y	التمرکز
x_c	الانحراف عن مركز اللب

وقد تمّت تغطية هذه المقاييس في النشرة (FOTP-176) وهناك طرق أخرى تستخدم الأدوات الميكانيكية أو بالميكروسكوب مذكورة بالنشرات (FOTP-27) و (FOTP-45)



الشكل (١٠-١٦) عدم تمرکز وعدم استدارة اللب والكساء

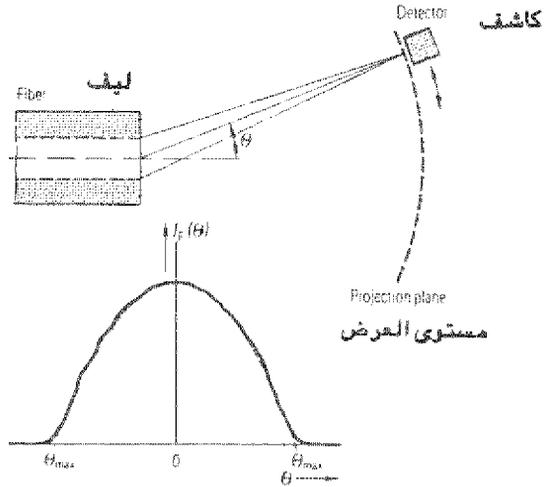
٢-٥-١. فتحة النفوذ العددية Numerical Aperture

لإيجاد فتحة النفوذ العددية للليف بصري متعدد النمط تستخدم قياسات الحقل البعيد حيث تقاس شدة الإضاءة الخارجة من الليف البصري عن بعد كما في الشكل (١٧-١٠) وتقاس زاوية المسح θ كالتالي :

لو فرضنا أن شدة الإضاءة هي I_R وأن توزيعها جاوسي فإن أقصى قيمة لزاوية المسح θ_m تقع عندما تنخفض شدة الإضاءة إلى 2.5 % من قيمتها عند المركز ونستطيع

الحصول على فتحة النفوذ العددية من المعادلة التالية :-

$$NA = \text{Sin } \theta_{\max} \dots\dots\dots (10.19)$$



الشكل (١٧-١٠) قياس الحقل البعيد لمعرفة فتحة النفوذ العددية

٣-٥-١. قطره الحقل المنطقي Mode Field Diameter

من المهم معرفة توزيع الضوء في النمط الأساسي fundamental mode للليف البصري أحادي النمط بدلاً من فتحة النفوذ العددية لأنها تمكننا من تقييم إيصال

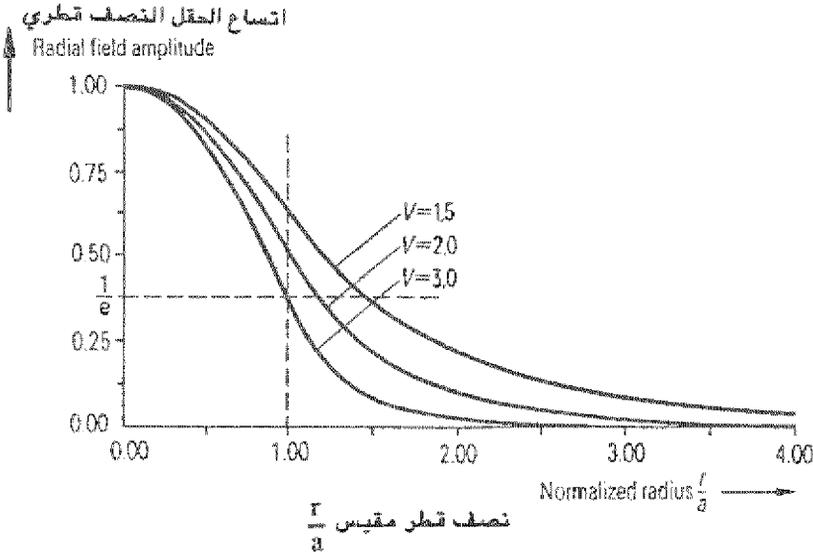
الضوء لليف وحساب النسبة عند الشني والربط . نرى في الشكل (١٠-١٨) أن قطر الحقل النمطي هو $2W_0$ حيث أن W_0 تمثل نصف القطر وهي النقطة التي تصبح عندها شدة الإضاءة $\frac{1}{e}$ أو 37% من قيمتها عند المركز ($r = 0$) ، ويعتمد قطر الحقل النمطي على الطول الموجي ، ويزداد بازدياد الطول الموجي ، ونستطيع الحصول على قيمة W_0 من خلال العلاقة بين نصف قطر اللب a والتردد المقيس V حيث أن :

$$V = \frac{2\pi a}{\lambda} NA \dots\dots\dots (10.20)$$

وإذا كان الليف أحادي النمط وعتبي معامل الانكسار فإن V تتراوح بين 1.6 و 2.6
 ونستطيع كتابة العلاقة بين W_0 و a تقريباً كالتالي :

$$W_0 = \frac{2.6}{V} a \dots\dots\dots (10.21)$$

وقيم V السابقة تشمل الأطوال الموجية بين 1150nm و 1875nm والتي تقع ضمنها الأطوال الموجية التشغيلية 1300nm و 1550nm .



الشكل (١٠-١٨) الاعتماد النصف القطري لاتساع الحقل لوجة الأساس

٦-١٠ الانعكاس البصري في المجال الزمني Optical Time Domain Reflectometry (OTDR)

يعتبر جهاز الانعكاس البصري في المجال الزمني من أهم الأجهزة لمجال البصريات الليفية حيث يستخدم في المختبر وفي الميدان ، إذ يستطيع تزويدنا بمعلومات كثيرة عن الليف البصري باستخدام نهاية واحدة فقط . وقد أرفقنا في نهاية الفصل النشرات التي تعطي أهداف واستخدامات هذا الجهاز .

يحتوي جهاز OTDR على مرسل يحتوي ثنائي ليزري ويرسل نبضات مستطيلة rectangular إلى الليف يتناثر الضوء المرسل خلال مروره بالليف حسب مستوى الإشارة المرسله ، ويقاس الضوء المتناثر عكسياً سواءً من الليف أو الوصلات ويستخدم كاشف لقياس الضوء المتناثر عكسياً . يتراوح زمن النبضات المرسله بين $0.1ns$ و $10 \mu s$.
ونستطيع باستخدام هذا الجهاز معرفة طول الليف ومقدار التوهين وموقع الوصلات والمقارن والموصلات والخلل إلى وصلة الاتصالات الليفية وموقعها ، ولمعرفة المزيد عن طرق القياس هذه يمكن الرجوع إلى النشرات المذكورة في آخر الفصل .

٧ - ١٠ الخلاصة Summary

قدمنا في هذا الفصل بعض طرق القياس المختلفة لمعلمات الليف البصري الأساسية كما أشرنا إلى المقاييس التي تستخدم لعمل هذه القياسات . لا يزال مجال الألياف البصرية في تطور مستمر مما يتطلب متابعة مستمرة لتطوراتها ومعرفة المقاييس والمواصفات التي تصدر من قبل الهيئات المختصة المذكورة في آخر الفصل .

الفصل العاشر

أسئلة

- ١ - ماهي القياسات التي تتم للتشكيلة الأولية ؟
- ٢ - ماهي القياسات التي تتم خلال إنتاج الليف ؟
- ٣ - ماهي القياسات التي تتم لليف بعد تصنيعه .
- ٤ - ماهي القياسات التي تتم بعد وضع الليف ضمن كابل بصري ؟
- ٥ - ما الفرق بين انعراج فرسنتل وانعراج فرانهورفر؟
- ٦ - لماذا تصقل نهاية الليف قبل قياس توزيع الحقل ؟
- ٧ - أذكر طرق قياس التوهين ؟ وأي طريقة أفضل ؟
- ٨ - ماهي الطرق المستخدمة لقياس عرض النطاق ؟ إشرح كل منهما ؟
- ٩ - ماهو التشتيت المادي وما علاقته بالطول الموجي ؟
- ١٠ - ماهي طرق قياس تشتيت اللون ؟
- ١١ - لماذا يعتبر جهاز OTDR أهم الأجهزة المستخدمة في نظم البصريات الليفية؟

بيان بالهيئات والمواصفات القياسية لنظم الاتصالات الليقية البصرية

STANDARDS ORGANIZATIONS

Because standardization organizations emerge and change charters often as demand dictates, it is not possible to mention all of those that have contributed to the technology. A few of the key organizations are referenced here.

American National Standards Institute (ANSI)

Committee X3T9 is developed the fiber distributed-data interface (FDDI) standard for high-speed LANs operating in the 100 Mb/s range. FDDI is aimed at high-speed interconnection between mainframes, minicomputers, and their associated peripherals. Other ANSI standards important to fiber, or digital, network design are

- T1.101-1987 Synchronous Interface Standards for Digital Network.
- T1.102-1987 Digital Hierarchy Electrical Interfaces.
- T1.103-1987 Digital Hierarchy Sync DS-3 Format Spec (SYNTRAN).
- T1.106-1988 Digital Hierarchy Optical Interface Specs: Single Mode (see ECSA).
- T1.107-1988 Digital Hierarchy Format Specs (T1X/87-127).

North Atlantic Treaty Organization (NATO)

Among other activities, NATO subcommittees have been developed fiber and cable standards for NATO applications. One such committee is NIAG Subgroup 6, which developed fiber-optic interface standards for shipboard application.

National Bureau of Standards (NBS)

The NBS at Boulder develops certain measurement standards for fiber-optic components. One key measurements document is Special Publication 637, Optical Fiber Characterization.

Exchange Carriers Standards Association (ECSA)

ECSA is the secretariat for the ANSI and has submitted the following key documents to ANSI for approval:

(a) T1X1/87-126, the proposed draft, American National Standard for the Fourth Hierarchical Level, was developed by ECSA to be compatible with the CCIT's 139.264 Mbs/s signal as presented in Rec. G.703 and G.755.

(b) T1X1/87-129R1, Digital Hierarchy Optical Interface Rates and Formats Specification, or ANSI draft standard T1.105-1988. ECSA T1X1.2 Working Group is developing this standard, also known as the synchronous optical network (SONET) standard, that will establish synchronous compatibility between optical transmission equipments. The building block synchronous transport-signal level 1 (STS-1) is at a rate of 51.840 Mb/s with an optical-carrier level 1 (OC-1) optical counterpart also at 51.840 Mb/s. This standard is to be consist with the work of the CCITT on network-node interface (NNI) using synchronous multiplexing techniques.

(c) T1X1/87-128R1, American National Standard for Telecommunications Digital Hierarchy Optical Interface Specifications: Single Mode. This standard describes the performance characteristics of the single-mode interface to be used with SONET and provides references to other standards that define component performance and "joint" engineering methodologies. It, along with EIA document TSB20, forms some key standards for fiber transmission-systems design.

(d) T1M1.2/87-037R2, Functional Requirements for Optical Terminating Equipment.

(e) T1X1.4/87-702R2, proposed draft on Digital Hierarchy Formats.

Electronic Industries Association (EIA)

The EIA contains the following subcommittee organizations:

FO-2 Optical Communications Systems

FO-2.1 Optical Fiber Telecom Systems

FO-2.2 Fiber Optics LAN

FO-2.3 Jitter and Wander

FO-2.5 Cable Plant Installation

FO-6 Fiber Optics

- FO-6.1 Field Tooling and Test
- FO-6.2 Terminology Definition and Symbology
- FO-6.3 Interconnection Devices
- FO-6.4 Test Methods and Instrumentation
- FO-6.6 Optical Fibers and Materials
- FO-6.7 Fiber Optics Cables

The EIA has initial work on over 170 fiber-optic test procedures (FOTP) and standards. some of the key test procedures are listed in Table A. Other key EIA documents on fiber optics include.

- RS-440-1978 Connector Terminology
- RS-458,-459 Standards for Fiber Classes and Materials
- RS-472-1985 Generic Spec, Cables
- 472A-XX0-86 Cables for Outside Aerial Use
- 472B-XX0-86 Cables for Underground and Burial Use
- 472C-XX0-86 Cables for Indoor Use
- 472D-XX0-86 Cables for Outside Plant Use
- RS-475-1986 Generic Spec, Connectors
- RS-492-1987 Generic Spec, Optical Waveguide
- RS-509-1984 Generic Spec, Fiber Optic Terminal Devices
- RS-515-1986 Generic Spec, Fiber and Cable Splices
- TSB-20 Single Mode Fiber Optic System Transmission Design

TABLE A EIA RS-455-XXX, FIBER-OPTIC TEST PROCEDURES

Procedure number FOTP-XXX	Component type	Test description
1	Connectors	Cable flex test
2	All devices	Impact test measurement
3	Connectors	Temperature cycling
4	Connect/component	Temperature life
5	Connectors	Humidity test
6	Connectors	Cable retention test
11	Connectors	Vibration test procedure
12	Connectors	Fluid immersion
13	All devices	Visual and mechanical inspection
14	All devices	Shock test
15	All devices	Altitude immersion
16	Components	Salt spray
17	Cable assemblies	Maintenance aging
18	Component/assembly	Acceleration testing
20	Optical	Optical-transmittance change

TABLE A (contd.)

Procedure number FOIP-XXX	Component type	Test description
22	System	Ambient-light susceptibility
23	Component seals	Air-leakage testing
25	Cable assemblies	Impact testing
26	Cable	Crush resistance
27	Fibers	Outside-Diameter measurement
28	Fibers	Tensile failure point
29	Fiber	Refractive index profile, transverse method
30	Multimode fiber	Bandwidth measurement, frequency-domain method
31	Fiber	Tensile proof test method
32	System	Fiber-optic circuit discontinuities
33	Cable	Tensile loading and bending
33	Cable	Tensile loading and bending
34	Connector	Insertion-loss test
35	Connector	Dust (fine-sand) test
36	Cable assembly	Twist test
37	Cable	Bend test, low and high temperatures
39	Cable	Wicking test
40	Cable	Fluid immersion
41	Cable	Compressive-loading resistance
42	Components	Optical crosstalk
43	Fibers	Output near-field radiation pattern
44	Fibers	Refractive index profile, refracted ray method
45	Fibers	Fiber geometry, microscope method
46	Long GI fibers	Spectral-attenuation measurements
47	Fibers	Output far-field radiation pattern
48	Fibers	On-line diameter measurement
49	Components	Nuclear radiation effects measurement method
50	GI fiber	Light launch for attenuation measurement
51	Multimode fiber	Pulse-distortion measurements
52	Fibers	Temperature dependent of attenuation
53	Long fiber	Attenuation by substitution method
54	Fiber	Bandwidth, mode scrambler requirements
55	Fibers	Coating geometry measurement
56	Fibers	Fungus resistance
57	Fibers	End preparation and examination
58	GI fiber	Core-diameter measurement
59	Fiber/cable	OTDR attenuation measurement
60	Fiber	Length by time-of-flight measurement
61	Components	Nuclear thermal-blast resistance
62	Fiber	Macrobend attenuation
63	Fiber	Torsion test
65	Fiber	Flexure test
66	Fiber	Abrasion resistance of buffer coatings
67	Coated fiber	Self-sticking (blocking) test
68	Fiber	Microbending
69	Fibers	Max and min use temperature
70	Fibers	Advanced aging
71	Components	Temperature shock effects
72	Components	Temperature cycling effects
73	Fibers	Temperature and humidity cycling
74	Fibers	Humidity testing
75	Fibers	Fluid-immersion test

TABLE A (contd.)

Procedure number FOIP-XXX	Component type	Test description
78	SM fiber	Spectral attenuation, cutback method
80	SM fiber	Cutoff wavelength by transmitted power
81	Filled cable	Compound flow (drip) test
82	Filled cable	Fluid-penetration test
83	Cable to connector	Axial compressive loading
84	Cable	Jacket self-adhesion (block) test
85	Cable	Twist test
86	Cable	Jacket-shrinkage test
87	Cable	Knot test
88	Cable	Bend test
89	Cable	Jacket elongation and tensile strength
91	Cable	Twist and bend
94	Cable	Stuffing-tube compression
95	Fiber/cable	Absolute optical-power test
96	Cable	Storage temperature and humidity
98	Cable	Freezing test
99	Cable	Gas-flame test
100	Gas blocking cable	Gas-leakage test
101	Cable	Accelerated oxygen aging
102	Cable	Water-pressure cycling
103	Buffered fiber	Bend test
104	Cable	Cyclic flexing test
107	Terminal	Return loss
109		Reference-point temperature
110	Transmitter	Type verification
111	Receiver	Type verification
112	Power supply	Current
113	Digital terminal	General measurement requirements
114	Terminal	Data-input current
115	Terminal	Control-input current/voltage
116	Terminal	Data-output voltages
117	Transmitter	Optical output power
118	System	Output propagation delay
119	Receiver	Sensitivity and dynamic range
120	Transmitter	Optical output power
121	System	Output propagation delay
122	Receiver	Responsivity and rms noise voltage
123	Receiver	Output voltage and switching times
124	Detector	Dark currents
125	Detector	Numerical aperture
126	Source	Modulation index
160	Cable	Temperature shock test
161	Cable	Temperature cycling
162	Cable	Temperature/humidity cycling
163	Cable	Fungus resistance
164	SM fiber	Mode field diameter, far-field scan
165	SM fiber	Mode field diameter, near-field scan
166	SM fiber	Mode field diameter, transverse offset
167	SM fiber	Mode field diameter, far-field variable aperture
168	Fiber	Chromatic dispersion, spectral group delay
169	Fiber	Chromatic dispersion, phase shift
170	SM fiber	Cutoff wavelength by transmitted power
171	Short fiber	Attenuation by substitution method

TABLE A (contd.)

Procedure number FOIP-XXX	Component type	Test description
172	Firewall connector	Flame resistance
174	SM fiber	Mode field diameter, far-field knife edge scan
175	Fiber	Chromatic dispersion, differential phase shift
176	Fiber	Geometry measurement by Grey-scale analysis
179	Fiber	Inspect cleaved ends by interferometry

Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE)

The Standards Coordinating Committee on Definitions (SCC 10) is responsible for the development of terms and definitions. Key documents include

- ANSI/IEEE STD 100-1984 IEEE Standard Dictionary of Electrical and Electronic Terms
- IEEE 812-1984 Definition of Terms Relating to Fiber Optics

International Electro-Technical Commission (IEC)

The IEC has established the TC46 technical subcommittee on wire and cables, the SC46E subcommittee on fiber optics, and the following working groups:

- WG0 Terminology
- WG1 Fiber and Cable
- WG2 Connectors
- WG3 Safety

The IEC has produced the following key documents:

- IEC/SC 46E (CO)9 and IEC/SC 46E (sec)66 Optical Fibers Measurements Dimensional Tests Sections One and Two
- IEC/SC 46E (SEC)55 Generic Spec, Connectors
- IEC/SC 86B(CO) 15 Revision to Generic Spec for Connectors Regarding Climatic Environmental Tests

IEC/SC 86B (CO) 16,17	Generic Spec for Fiber Optic Branching Devices: Insertion Loss and Return Loss
IEC 693	Dimensions of Optical Fibers
IEC 793-1	Generic Spec, Optical Fibers
IEC 794-1	Generic Spec, Optical Fiber Cables
IEC 874-1-1986	Generic Spec, Connectors
IEC 875-1-1986	Generic Spec, Branching Devices
IEC 875-2-1986	Generic Spec, Branching Devices, Star Coupler
IEC 876-1-1986	Generic Spec, Fiber Optic Switches

Consultative Committee in International Telegraphy and Telephony (CCITT, Geneva).

Under the CCITT, Subgroup SG XV and others are developing fiber-optic transmission standards. Subgroup SG XVIII is developing broadband ISDN standards. Key Documents include:

- Rec G651 Standardization of Fiber Physical Parameters
- Rec G652 Characteristics of Single Mode Fiber Optics Cable

Society of Automotive Engineers (SAE)

It was the SAE that began some of the earliest work on military fiber-optic standards. Some early activity includes

SAE A-2H Subcommittee: Wire and Cable Standards; developed DOD-STD-1678 and DOD-C-85045.

SAE A2-K Subcommittee: developed the fiber-optics version of the MIL-STD-1553 data bus standard (MIL-STD-1773).

The SAE has two standards committees working on the fiber-optic data bus:

AS-2 Committee: High Speed Data Bus standards AS 4074.2 High Speed Ring Bus (HSRB), Tri-Service J1-AWG committee.

AS 4074.1 Linear Token Passing Multiplex Data Bus

AS-3 Committee: DOD-STD-1773 Development and Enhancement STANAG 3910 (NATO) Standard Support

Department of Defense (DOD)

Standards activity is within the Defense Materials Specifications and Standards Office (DMSSO) of the Office of the Undersecretary of Defense for Research and Engineering. There exist Departmental Standards Offices (DEPSO) for parts in the Defense Logistics Agency (DLA) and for systems separately in the Army, Navy, and Air Force. For the Army, the assignee activity is the Army CECOM at Ft. Monmouth, New Jersey. For standard parts, the assignee activity for DLA is the Defense Electronics Supply Center (DESC) in Dayton, Ohio. These groups work with various DOD standards working groups and industry committees and coordinate their activities with the standards and specifications test and evaluation activities within the Tri-Service Fiber Optic Coordinating Structure (TSFOCS). TSFOCS is the R & D arm of the Office of the Undersecretary of Defense for R & D. Within the DESC, Federal Stock Group 60 has been established to cover fiber-optic materials, components assemblies, and accessories. Some key DOD publications include

DOD-STD-1678	Fiber Optic Test Methods
DOD-C-85045	Fiber Optic Cable Standard
FSC 6625	Test Equipment
MIL-STD-1773	Fiber Optics Mechanization and Aircraft Internal Time Division Command/ Response Multiplex Data Bus System
MIL-STD-188-111	Subsystem and Engineering Standards for Common Long Haul/Tactical Fiber Optics Communications
MIL-STD-1863	Standards for Mechanical Interfaces
MIL-HDBK-141	Fiber Optic Design Practices