الفصل السابع

توصيل عناصر النظام الليفي البصري

obeikandl.com

obeikandl.com

الفصل السابع
توصيل عناصر النظام الليفي البصري
Connection of Fiber Optic Link Elements

واجهت نظم الألياف البصرية في بداية تطبيقها مشاكل كثيرة تتعلق بتوصيل الأجزاء المختلفة من عناصر النظام ، إذ لابد من اقتران الضوء بكفاءة من المنبع إلى الليف ومن الليف إلى الكاشف. كذلك نحتاج إلى توصيل الألياف مع بعضها للحصول على الأطوال المطلوبة من قنوات الاتصال الليفية . إن الأبحاث الدئوبة والاكتشافات المتعددة ذللت الصعاب وأدت إلى شيوع استخدام هذا النظام للمزايا الكثيرة التي سبق شرحها. إن السبب في هذه الصعوبات ناجم من صغر مكونات النظام خاصة الألياف البصرية نفسها. على العكس من نظم الاتصالات الأخرى التي لاتحتاج إلى نفس الدقة والعناية. فعلى سبيل المثال عند قطع سلك هاتفي فإننا نعيد توصيله بلف النهايات حول بعضها أو بلحمها مع بعض. مثل هذا الإجراء غير ممكن في الألياف البصرية إذ لابد من تحضير نهاياتها جيداً وتطابق لبها للحصول على توصيل جيد.

نستعرض في هذا الفصل أنواع الموصلات connectors والمقارن conplers والتوصيلات الدائمة splices وشرح الأسباب المختلفة للفقد فيها ، سنذكر كذلك صفات الموصلات المرغوب فيها للحصول على أفضل النتائج .

٧-١ مبادىء التوصيل Connection Principles

تقسم أسباب الفقد في نظام الاتصالات الليفي البصري إلى نوعين :

١ - عوامل داخلية تتعلق بتركيبة الألياف .

٢ - مسببات خارجية تتعلق بتوصيل الألياف.

١ - العوامل الداخلية أو الضمنية Intrinsic Factors

عند ربط ليفين بصريين يجب أن يكونا متطابقين تماماً . بينما الواقع غير ذلك. إذ من الصعب الحصول على تطابق تام إذ تتفاوت مواصفات الألياف عند تصنيعها. يتبين في الشكل (٧-١) العوامل المؤدية إلى الفقد الضمني ونشرحها فيما يلي :

أ - عدم تطابق فتحة النفوذ العددية Numerical Aperture Mismatch

يحصل الفقد عندما تكون فتحة النفوذ العددية لليف المرسل أكبر من الليف المستقبل كما في الشكل (٧-١أ) ، كذلك ينتج الفقد عند عدم تطابق اقطار لب الألياف الموصلة كأن يكون قطر لب الليف المرسل أكبر من قطر لب الليف المستقبل كما في الشكل (٧-١ب) . يحصل الفقد أيضاً عند عدم تطابق أقطار الأكسيه claddings للألياف الموصلة - مما ينتج عنه عدم تطابق اللب كما في الشكل (٧-١هـ).

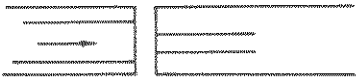
ب - التمركز Concentricity

يحصل فقد التمركز إذا لم يكن اللب في وسط الليف تماماً كما في الشكل (٧-١جـ) ، إذ لابد من تطابق محاور اللب والكساء. يعرف تفاوت التمركز بأنه المسافة بين مركز اللب ومركز الكساء .

جـ - الإهليليجية أو البيضاوية Ellipticity or Ovality

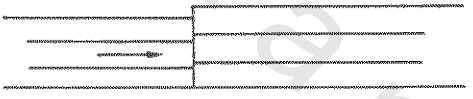
يحدث هذا الفقد عندما يكون اللب أو الكساء اهليليجياً أو بيضاوياً كما في الشكل (٧-١ د) بدلاً من أن يكون دائرياً . لو حاولنا تراصف alignment ليفين بصريين بيضاويين قد لانحصل على تطابق متكامل كما في الشكل (٧-١د) لأن ذلك يعتمد على محاور الليفين . عند تطابق المحاور البيضاوية فإن الفقد سيكون أقل مايمكن ويزداد كلما ابتعدت المحاور عن بعضها.

(جـ) التمركز

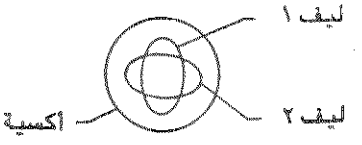


(ب) اختلاف أقطار اللب

(أ) عدم تطابق فتحة النفوذ العددية



(هـ) عدم تطابق أقطار الاكسية



(د) الأهليليجية أو البيضاوية

الشكل (٧-١) عوامل الفقد الداخلي لتوصيل الألياف

إن الأسباب الضمنية الآنف ذكرها تعتمد على طريقة تصنيع الألياف ومقدرة الشركات المنتجة على التحكم بهذه المتغيرات . وقد تحسنت طرق الإنتاج في السنوات القليلة الماضية وأصبح بالإمكان الحصول على ألياف بصرية بمواصفات دقيقة جداً . على سبيل المثال فإن ليفاً بصرياً بقطر 125μm كان مدى تفاوته tolerance يتراوح بين 5μm - و 5μm + مما يعني أن قطر الليف يتراوح بين 120μm و 130μm . يؤدي هذا التفاوت بين ليفين من نفس النوع إلى حدوث فقد مقداره 0.6dB . يتراوح تفاوت الألياف المصنعة حالياً بين 1μm - و 1μm + ويقل الفقد إلى 0.1dB .

obeikandl.com

لابد من الإشارة هنا إلى أن قيم الفقد المذكورة آنفاً هي القيم القصوى وعادة ماتكون قيمها أقل في التطبيقات العملية عند ربط ليفين مع بعضهما .

نورد في الجدول (٧-١) التفاوتات النموذجية لألياف متوفرة تجارياً .

الجدول (٧-١) التفاوتات النموذجية التي تؤثر بالفقد الداخلي

نوع التغيـــــر	التفـــــاوت
قطر اللب (50μm)	±3μm
قطر الكساء (125μm)	± 3 μm
فتحة النفوذ العددية(0.26)	± 0.015
التمركز	3μm ≥
بيضاوية اللب	0.98 ≤
بيضاوية الكساء	0.98≤

٢ - العوامل الخارجية Extrinsic Factors

لايقتصر الفقد على العناصر الداخلية أو الضمنية الآنف ذكرها . تؤدي الموصلات والوصلات الدائمة إلى الفقد عند ربط عناصر نظم الاتصالات البصرية مع بعضها. على سبيل المثال يحصل الفقد عند ربط ليفين بصريين إذا لم تكن محاورهما المركزية متراصفة حتى وان لم يكن هناك فقد داخلي . ينتج الفقد عند عدم التمكن من انتاج أجهزة ربط بالدقة المناسبة . لقد استخدمت عدة طرق وأجهزة لربط الألياف مع بعضها لتلافي الفقد وتخفيضه لأقل قيمة ممكنة .

هناك خمسة أسباب للفقد يجب التحكم بها وهي :

أ - الانزياح الجانبي Lateral displacement

ب - عدم التراصف الزاوي Angular misalignment

جـ - تباعد النهايات End separation

obeikandl.com

د - نعومة النهايات وتوازيها Smooth and parallel ends

هـ - ألياف مختلفة Different fibers

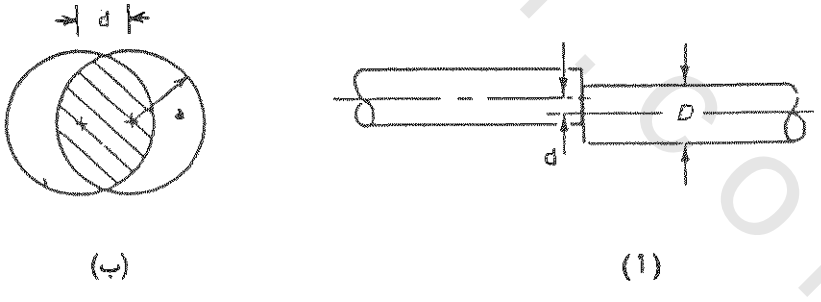
أ - الانزياح الجانبي Lateral Displacement

يجب أن تكون الموصلات المستخدمة لربط الألياف مع بعضها قادرة على رصف محاورها المركزية . عند عدم تراصف المحاور سيحصل فقد في القدرة المنقولة من ليف لآخر. يعتمد الفقد الناتج على مقدار الانزياح الجانبي بين الليفين . يتبين في الشكل (٧-٢) انزياح الليف المرسل عن الليف المستقبل ومدى تراكبهما مع بعضهما . إن كفاءة الاقتران η بين الليف المرسل والليف المستقبل تعتمد على نسبة التراكب بينهما كما هي في الشكل (٧-٢ب) ويمكن حسابها لليف عتبي متعدد الأنماط كما يلي :

$$\eta = \frac{2}{\Pi}\left\{\cos^{-1}\frac{d}{2a} - \frac{d}{2a}\sqrt{\left[1-\left(\frac{d}{2a}\right)^2\right]}\right\} \quad \text{..... (7.1)}$$

ويعبر عن الفقد بالديسيبل بالآتي :

$$L = -10 \text{ Log } \eta \quad \text{.....(7.2)}$$



(ب) (أ)

الشكل (٧-٢) الانزياح الجانبي بين ليفين

(أ) منظر جانبي يبين انزياح المحاور

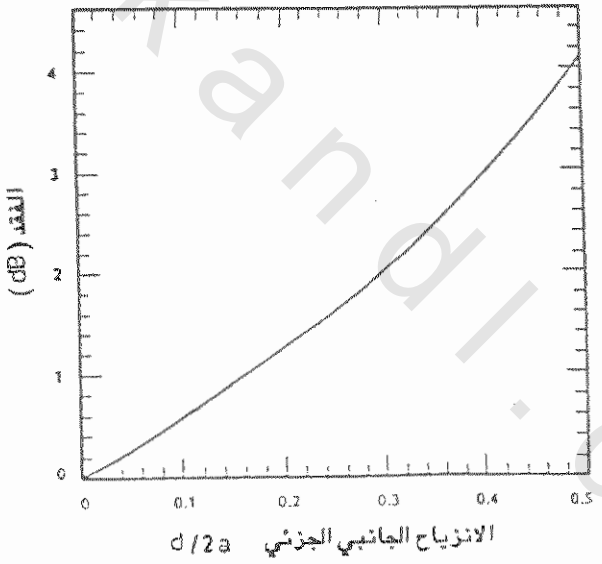
(ب) مقطع يوضح تباعد مراكز الليفين بمسافة d

يبين الشكل (٧-٣) رسماً بيانياً للفقد نتيجه الانزياح الجانبي .

يمكن اختصار المعادلة (7.1) إذا كان مقدار الانزياح صغيراً $\left(\frac{d}{2a} < 0.2\right)$، لتصبح كالآتي :-

$$\eta = 1 - \left(\frac{2d}{\Gamma 1 a}\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (7.3)$$

نظراً لاستخدام أجهزة توصيل جيدة ومجاهر دقيقة فإن مقدار الانزياح الجانبي غالباً مايكون صغيراً والفقد الناتج عن التوصيل يقل عن 1dB . والمثال الآتي يبين مقدار الفقد لانزياحات متعددة .



الشكل (٧-٣) فقد الانزياح الجانبي لليف عتبي متعدد النمط

مثال ٧-١ :

أوجد مقدار الفقد لليف بصري قطر لبه 50μm إذا كان مقدار الانزياح 8 μm و 4.5μm و 1μm.

obeikandl.com

الحل : من المعادلتين (7.1) و(7.2) والشكل (٧-٣) يمكن إيجاد الفقد للانزياحات المذكورة أعلاه وهي مدونة بالجدول التالي :

مقدار الانزياح d (μm)	نسبة $\frac{d}{2a}$	الفقد dB
1	0.02	0.1
4.5	0.09	0.5
8	0.16	1

يبين هذا المثال مدى أهمية التراصف المحوري ومقدار الفقد للانزياحات المختلفة.

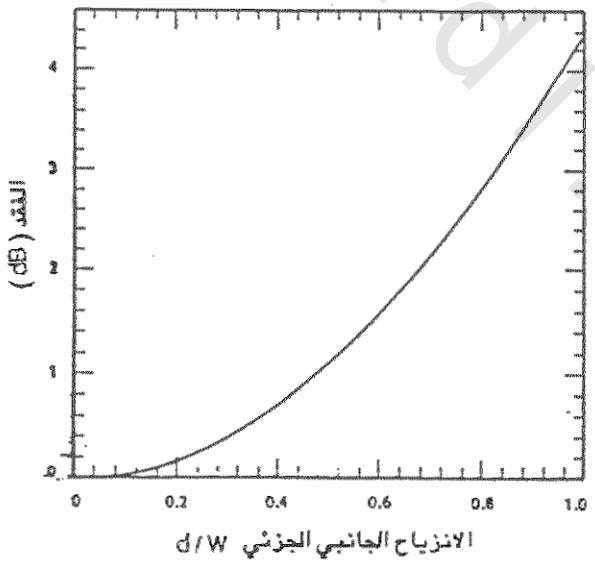
إن القدرة المارة في الليف لاتتوزع بصورة منتظمة عبر مقطع الليف لأن الأنماط العليا والتي تسير بعيداً عن مركز الليف تتوهن بصورة أكبر من الأنماط الدنيا . لذا فإن كثافة القدرة عند نهاية ليف طويل ستكون مركزة عند المركز. نجد عندها أن الانزياح المحوري الصغير يسبب فقداً في القدرة المحمولة في حافة اللب. وحيث أن القدرة عند حافة اللب هي أقل من تلك الموجودة في المركز فإن القدرة المفقودة ستكون أقل مما هو مفترض في المعادلة (7.1). إن افتراض تراكب منتظم وتوزيع منتظم للقدرة عبر مقطع الليف يعطينا تقديرات متحفظة للفقد في ليف عتبي متعدد النمط .

تتغير فتحة النفوذ العددية لليف المتدرج متعدد النمط عبر مقطع اللب مما يؤدي إلى مشاكل نظرية عند حساب الاقتران بين ليف وآخر عند حدوث انزياح بينهما لأن فتحات النفوذ العددية تتغير عبر مقطع لب الليف .عندما يتقابل الليفان تماماً دون انزياح بينهما تتوا ءم فتحات النفوذ العددية لكل منهما عند كل نقطة عبر وجه اللب. في حالة حدوث انزياح يحصل عدم توا ءم في فتحة النفوذ العددية عند كل نقطة عبر وجه اللب . عند النقط التي تكون فيها فتحة النفوذ العددية للمستقبل أكبر من فتحة النفوذ العددية للمرسل فإنه يحدث انتقال كلي للقدرة. وعند النقط التي تكون فيها فتحة النفوذ العددية للمستقبل أقل من فتحة النفوذ العددية للمرسل ستضيع بعض القدرة . إن الكفا ءة الجزئية عند هذه النقط تساوي النسبة بين مربعي فتحة النفوذ العددية. لحساب كفا ءة الاقتران علينا أن نحسب متوسط الكفا ءة المحلية local وذلك بعد تقديرها وفق توزع القدرة على الوجه الطرفي .

يعتمد فقد الانزياح في الألياف أحادية النمط على شكل نمط الانتشار . تكون الحزم الضوئية في الألياف العتبية أو ذات القطع المكافيء ذات توزيع جاوسي تقريباً . يقدر الفقد بين ألياف أحادية النمط ومتماثلة بالمعادلة التالية :

$$L = -10 \text{ Log} \left\{ \exp. \left[-\left(\frac{d}{W}\right)^2 \right] \right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (7.4)$$

حيث أن W هي حجم بقعة الحزمة الجاوسية . عندما تكون قيمة $v = 2.405$ فإن حجم البقعة يكون حوالي 1.1 مرة نصف قطر اللب ، يبين الشكل (٧-٤) مقدار الفقد نتيجة الانزياح المحوري في ليف أحادي النمط . نظراً لأن حجم البقعة يبلغ فقط بضعة ميكرونات فإن الاقتران الفعّال لليف أحادي النماط يتطلب درجة عالية جداً من الدقة الميكانيكية لموائمة الألياف مع بعضها . على سبيل المثال فإن انزياح قدره $1.9\mu m$ وبقعة حجمها $4\mu m$ تعطينا فقداً قدره 1dB .



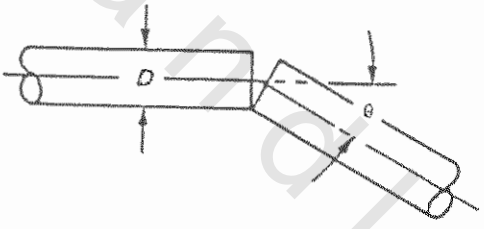
الشكل (٧-٤) فقد الانزياح الجانبي لألياف أحادية النمط ذات بقعة حجمها W

ب - عدم التراصف الزاوي Angular Misalignment

عند ربط ليفين مع بعضهما يجب أن يكونا على استقامة واحدة . إن أي انحراف زاوي بينهما سيؤدي إلى حدوث فقد في القدرة المنقولة بينهما . يعتمد الفقد في هذه الحالة على قيمة فتحة النفوذ العددية . يعبر عن كفاءة الاقتران نتيجة عدم التراصف الزاوي لزوايا صغيرة لألياف عتبية متعددة النمط بالآتي :

$$\eta = 1 - \frac{n_o \theta}{\Pi NA} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (7.5)$$

حيث أن n_o معامل انكسار المادة التي تملأ الأخدود الناتج من عدم التراصف الزاوي و θ هي زاوية عدم التراصف الزاوي كما في الشكل (٧-٥) مقدرة بالراديان .



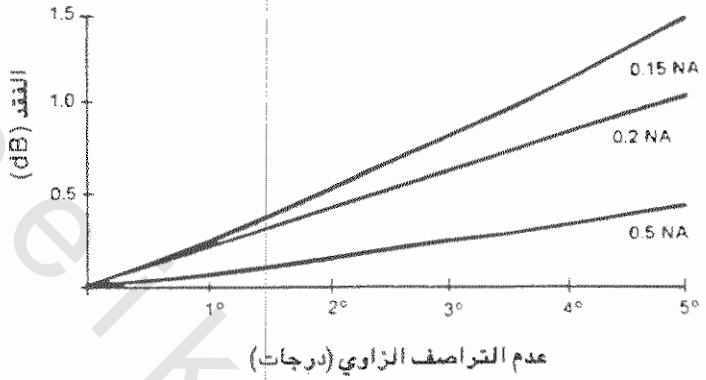
شكل (٧- ٥) عدم التراصف الزاوي بين ليفين

يعبر عن الفقد لليف عتبي متعدد النمط بالمعادلة التالية :

$$L = -10 \, Log \left(1 - \frac{n_o \theta}{\Pi NA} \right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (7.6)$$

يبين الشكل (٧-٦) رسماً بيانياً للمعادلة (7.6) لألياف بفتحات نفوذ عددية تتراوح بين NA = 0.15 و NA= 0.5 . تم حساب الفقد بافتراض $n_o = 1$ عندما تكون قيمة n_o أكبر من واحد فإن الفقد الزاوي سيزداد . من الشكل (٧-٦) نرى أن الفقد الزاوي يزداد كلما قلت فتحة النفوذ العددية . إن تغير قيم فتحة النفوذ العددية عبر مقطع لب الليف لن يتم تغطيته في هذا البند .

obeikandl.com

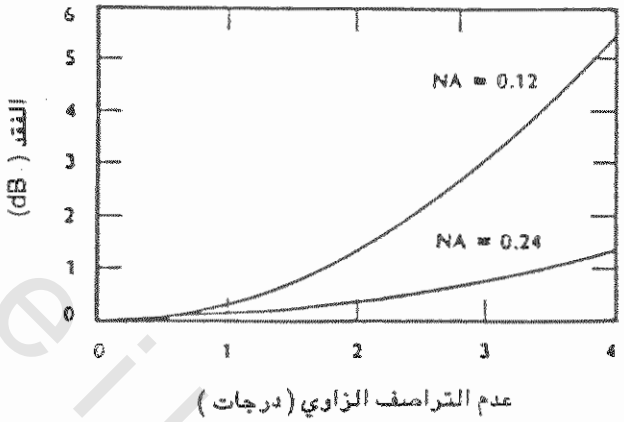


الشكل (٧-٦) فقد عدم التراصف الزاوي لألياف عتبية متعددة النمط

تعبر المعادلة التالية عن الفقد الناتج عن عدم التراصف الزاوي لليف أحادي النمط:

$$L = -10\,\mathrm{Log}\left\{\exp\left[-\left(\frac{\Pi n_2 w\,\theta}{\lambda}\right)^2\right]\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (7.7)$$

حيث أن n_2 هي معامل انكسار الكساء و w هي حجم البقعة الجاوسية و θ هي زاوية عدم التراصف مقدرة بالراديان. يبين الشكل (٧-٧) رسماً بيانياً لليفين لهما نفس التردد المقيس $V = 2.4$ ومعامل انكسار الكساء $n_2 = 1.46$ يعملان عند $\lambda = 0.8\ \mu m$ ونسبة $\frac{w}{a} = 1.1$ ويختلفان في قيم فتحة النفوذ العددية . يتضح من الشكل (٧-٧) أن الفقد الزاوي في الليف أحادي النمط يزداد بانخفاض قيمة فتحة النفوذ العددية لكن سرعة الفقد في الليف أحادي النمط أكبر مما هي عليه في الليف متعدد النمط كلما قلت قيمة فتحة النفوذ العددية.



الشكل (٧-٧) فقد عدم التراصف الزاوي لألياف أحادية النمط

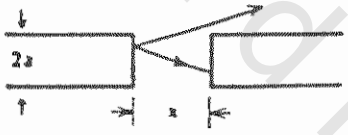
جـ - تباعد الأطراف End Separation

يؤدي تباعد أطراف الألياف المراد توصيلها مع بعض إلى حدوث نوعين من الفقد. الأول يسمى بفقد انعكاس فرسنل Fresnel reflection بسبب اختلاف معاملات انكسار الليفين عن معامل انكسار الثغرة الفاصلة بينهما وعادة ماتكون الهواء . يحصل الانعكاس عند مخرج الليف المرسل ومدخل الليف المستقبل. سبق أن حسبنا مقدار الانعكاس عند سطح زجاج هواء بأنه حوالي 4% أو 0.177 dB . وحيث أن هناك سطحان عاكسان فإن الفقد الكلي نتيجة الانعكاس هو 0.35dB . يمكن الإقلال من الفقد الناتج من الانعكاس بملء المسافة الفاصلة بين الليفين بسائل موائمة شفاف transparent index matching liquid معامل انكساره يساوي معامل انكسار الليف البصري ، قد يكون سائل الموائمة على شكل جيلي ويستخدم في الوصلات الدائمة splices أو الموصلات connectors. يحصل النوع الآخر من الفقد بصفة خاصة في الألياف متعددة النمط حيث يؤدي ابتعاد الليفين عن بعضهما إلى عدم اعتراض الليف المستقبل للأشعة المرسلة(الشكل

(٧-٨)) ، وكلما زاد التباعد كلما زاد الفقد نتيجة ضياع كمية أكبر من القدرة المرسلة . حيث تخرج الأنماط العليا بزاوية أكبر من زاوية القبول . يعتمد تباعد الأطراف على قيمة فتحة النفوذ العددية حيث يكون فقد تباعد الألياف أكبر للألياف ذات فتحات النفوذ الأكبر وذلك لأن حزمها تتباعد بشكل أسرع . لو فرضنا أن توزيع القدرة منتظماً فإن الفقد للثغرات الصغيرة بين الألياف يعبر عنه بالآتي :

$$L = -10 \operatorname{Log}\left(1 - \frac{X\,NA}{4a\,n_o}\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (7.8)$$

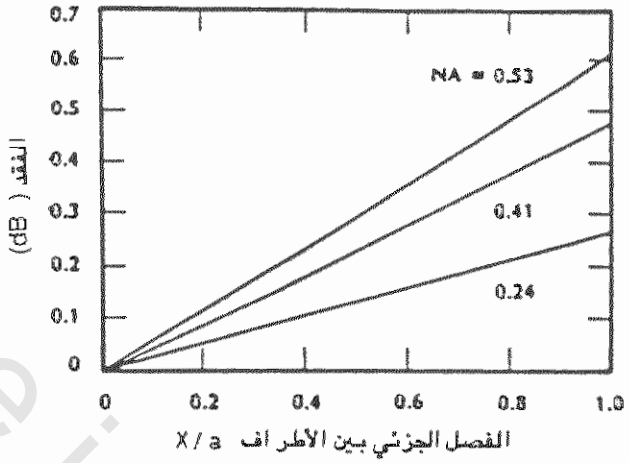
حيث أن X هي مسافة الفصل بين الليفين كما في الشكل (٧-٨) و n_o هي معامل انكسار الوسط الفاصل بين الليفين . فإذا كان الوسط الفاصل هو الهواء فإن $n_o=1$ وإذا كان سائل مواءمة فإن قيمة معامل انكساره ستكون قريبة من قيمة معامل انكسار الليف ،



الشكل (٧- ٨) يؤدي ابتعاد الليفين إلى هروب بعض الشعاع المرسل

يبين الشكل (٧-٩) منحنيات الفقد نتيجة تباعد أطراف الألياف. نلاحظ أن الفقد يزداد بازدياد فتحة النفوذ العددية . نلاحظ أيضاً من المعادلة (7.8) أن زيادة قيمة n_o عن واحد، ويمثل ذلك وجود سائل مواءمة في الفاصل بين الليفين ،يقلل من فقد التباعد . بالإضافة إلى النقص في فقد الانعكاس نتيجة وجود السائل.

openkandil.com

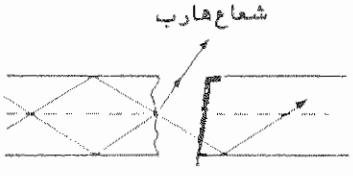


الشكل (٧-٩) الفقد نتيجة تباعد الأطراف لألياف عتبية متعدد النمط

د - نعومة الأسطح وتوازيها Smooth and Parallel Surfaces

تتسبب الأسطح الخشنة في تبعثر الضوء الخارج من الليف المرسل والداخل إلى الليف المستقبل. كذلك فإن أسطح الأطراف الخشنة أو غير المتوازية والتي لاتشكل زاوية قائمة مع محور الليف كما في الشكل (٧-١٠) تؤدي إلى زيادة فقد القدرة المنقولة. يؤدي استخدام سائل المواءمة إلي حل هذه المشاكل وذلك بملىء السطوح غير المستوية.

للإقلال من قيمة هذا النوع من الفقد لابد من تحضير النهايات تحضيراً جيداً وأن تكون ملساء ومتوازية. بمقارنة أنواع الفقد الناتج عن ربط الألياف المتماثلة نجد أن الانزياح الجانبي هو أكثر الأنواع تأثيراً .



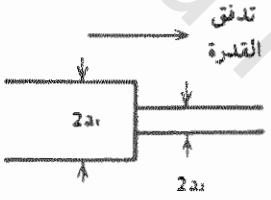
الشكل (٧-١٠) تساهم الأسطح الخشنة والمائلة في زيادة الفقد

obeikandl.com

هـ - توصيل الألياف المختلفة Connection of Different Fibers

فرضنا في البنود السابقة أن الألياف الموصلة هي من نفس النوع ولها مواصفات واحدة. ولكن الواقع العملي غير ذلك . إذ قد تختلف ألياف النظام الموصلة في أقطارها أو فتحات نفوذها العددية. على سبيل المثال قد نحتاج إلى توصيل منبع ضوئي مذنب Pigtailed light source، ذو ليف مختلف عن ذلك المستعمل في نظام اتصالنا البصري. كذلك يمكن أن تختلف أقطار الألياف الموصلة عن قصد أو غير قصد. لحساب الفقد الناتج عن توصيل ليفين بصريين مختلفين في القطر نفرض أن ليفاً نصف قطر لبه a_1 يرسل قدرة بصرية إلى ليف نصف قطره a_2 بحيث أن $a_1 > a_2$ كما في الشكل (٧-١١)فإن الفقد L يعبر عنه بالتالي :

$$L = -10 \text{ Log } \frac{a_2^2}{a_1^2} \quad \text{..... (7.9)}$$

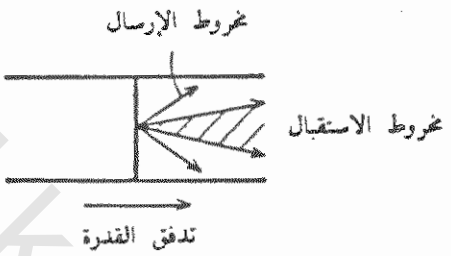


الشكل (٧- ١١) يؤدي عدم توافق لب الألياف إلى حدوث الفقد

أما إذا كان ليف الاستقبال أكبر من ليف الإرسال ($a_1 < a_2$) فإنه لايحصل فقد . يحدث الفقد أيضاً إذا كان الإرسال بين ليف ذي فتحة نفوذ عددية كبيرة إلى ليف ذي فتحة نفوذ عددية صغيرة . نجد في هذه الحالة أن بعض الشعاع المرسل سيقع خارج زاوية القبول لليف

المستقبل كما في الشكل (٧-١٢) . يبلغ الفقد إذا كانت $NA_1 > NA_2$ مايلي :

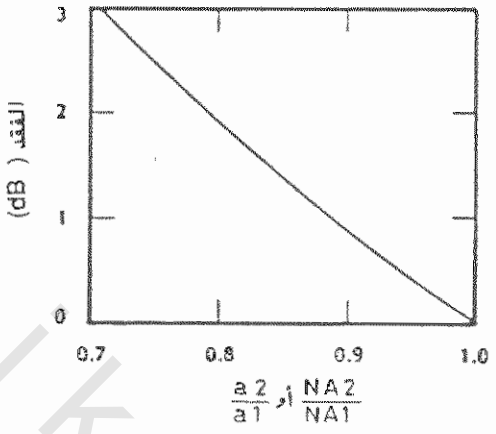
$$L = -10 \, Log \left(\frac{NA_2}{NA_1} \right)^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (7.10)$$



الشكل (٧-١٢) يؤدي عدم تواءم فتحات النفوذ العددية لحصول الفقد بين الليفين

أما إذا كانت فتحة النفوذ العددية للمرسل أصغر من فتحة النفوذ العددية للمستقبل فلا يحدث فقد . يبين الشكل (٧-١٣) رسماً بيانياً يوضح الفقد الناتج عن عدم تساوي أقطار الألياف الموصلة وعدم تساوى فتحات نفوذها العددية . افترضنا في التحليل السابق أن توزيع القدرة منتظماً للألياف العتبية والمتدرجة . عند استخدام ألياف متدرجة تستخدم قيمة فتحة النفوذ العددية على المحور ويجب أن يكون معامل المنظر الجانبي α ذاته لكلا الليفين . عند إرسال القدرة من ليف عتبي إلى ليف متدرج يقطع مكافيء لهما نفس قيمة فتحة النفوذ العددية المحورية وأن أقطارها متساوية فإن الفقد يبلغ حوالي3dB. يحدث ذلك لأن فتحة النفوذ العددية لليف المتدرج المستقبل تتناقص كلما ابتعدنا عن المحور وتصل إلى الصفر عند حافة اللب بينما يشع الليف العتبي بنفس قيمة فتحة النفوذ المحورية من كل نقاط حافته . أما إذا كان الليف المرسل متدرج والمستقبل عتبي فليس هناك فقد .

obeikandl.com



الشكل (٧-١٣) منحنى الفقد الناتج عن عدم تساوي اقطار لب الألياف وكذلك عدم تساوي فتحات نفوذها العددية

٧-٢ تحضير الليف Fiber Preparation

من العوامل الهامة للحصول على توصيل جيد بين الألياف هو تحضير نهايات الألياف. عنصرين أساسيين يجب توفرهما للحصول على نهايات صالحة للتوصيل. وهما التعامد والنعومة . يجب أن تكون نهايات الليف متعامدة على محوره ولاتتعدى درجة واحدة أو درجتين من الخط المتعامد على المحور. كذلك يجب أن تكون النهايات ناعمة خالية من التشوهات blemishes والمشق hackles أو الندب أو الخدش أو أي عيوب أخرى .

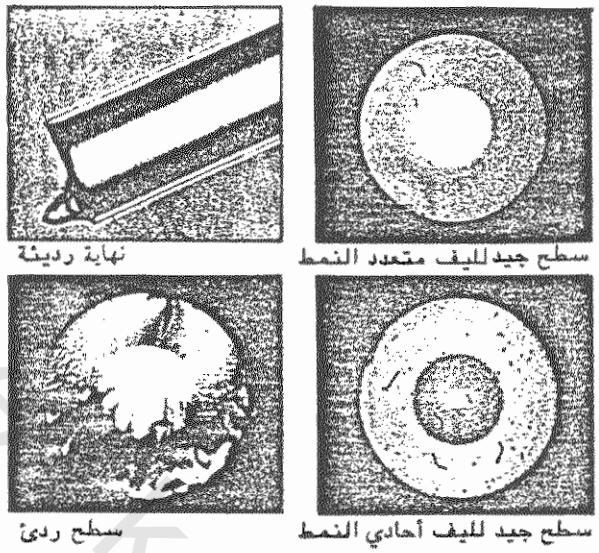
توجد طريقتين لتحضير نهايات صالحة للتوصيل وهما طريقة الخدش والكسر scribe and break وطريقة الصقل والتلميع lap and polish تستخدم طريقة الخدش والكسر عندما يتطلب الأمر عمل توصيلات دائمة splices أما طريقة الصقل والتلميع فتستخدم عندما يتم توصيل طرف الليف بموصل أو مقرن.

أياً كانت الطريقة المستخدمة لتحضير طرف الليف لابد في البداية من إزالة الأغطية والأغلفة الواقية وعناصر التقوية باستخدام أدوات تعرية الأسلاك والقطع أو أي آلة حاده تمكن من إزالة الطبقات الخارجية للكابل والوصول إلى الليف . بعد ذلك تزال طبقة الغلاف الواقي buffer والملصقة بالكساء بمحاليل كيميائية خاصة أو بطرق ميكانيكية.

تتطلب إزالة الغلاف الواقي بالطريقة الكيميائية غمر نهاية الليف في مزيل للدهان أو أي مزيل آخر يقوم بإذابة مادة الغلاف . تستغرق عملية الغمر حوالي دقيقتين . في الطرق الميكانيكية نستخدم آلة خاصة ذات دقة عالية لإزالة الغلاف الواقي . في هذه الطريقة يجب الحذر بعدم خدش أو إتلاف الكساء . بعد تعرية الليف نقوم بتنظيفه بمنظفات كيميائية مثل كحول ايزوبروبيل أو أي منظف آخر لايؤثر على مادة الليف .

في طريقة الخدش والكسر تحز الحافة الخارجية للكساء بواسطة شفرة صلبة حادة مصنوعة من الألماس أو الياقوت الأزرق أو كاربايد التنجستن يمكن سحب الشفرة على ليف ثابت أو سحب الليف على شفرة ثابتة . في كلا الحالتين يجب أن يخضع الليف لشد معتدل خلال عملية الحز وبعد الحز يزداد الشد بواسطة السحب إلى أن ينقطع الليف . تزيد قوة السحب النموذجية عن 1.47N (0.15kg و 0.33 lb).

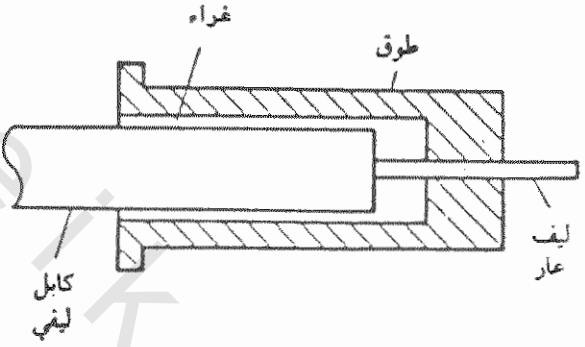
إذا عمل الشق الناتج عن حز الليف بصورة صحيحة فإنه يؤدي إلى الحصول على سطح متعامد مصقول وناعم جاهز للتوصيل. أما إذا لم يعمل بصورة صحيحة فإنه يؤدي إلى حصول ندب أو مشق hackles وشفاه lips كما هو في الشكل (٧-١٤) مما يجعل السطح غير قابل للتوصيل ويجب إعادة الخدش والقطع مرة ثانية .



الشكل (٧-١٤) مقاطع جيدة ورديئة لألياف زجاجية باستخدام طريقة الخدش والقطع

تتم عملية الخدش والقطع إما باليد أو بآلات خاصة تتراوح بين العدد اليدوية الرخيصة إلى الآلات الأوتوماتيكية المعقدة ، أياً كانت الطريقة فإن العبرة هي في الحصول على سطح متعامد مصقول صالح للتوصيل تستخدم طريقة الصقل والتلميع عندما يكون الليف جزءاً من موصل أو مقرن قابل للفك . توجد أنواع كثيرة من الموصلات والمقارن لكل منها طريقة للربط والتلميع . والطريقة العامة التي تنطبق على كافة الموصلات والمقارن تبدأ بإدخال الليف العاري في طوق ferrule معدني أو بلاستيكي كي يحفظ الليف في مكانه ويحميه ولايتسبب في انزياح الليف أو عدم تراصف زواياه . يبين الشكل (٧-١٥) رسماً مبسطاً لطوق اسطواني له ثقب صغير في أحد طرفيه لإدخال الليف وثقب في الطرف الآخر لإدخال غلاف الكابل. يتم وضع الليف في مكانه بدقة باستخدام أداة مناسبة . لتحضير الليف للصقل والتلميع يبرز جزء بسيط منه كما هو واضح في الشكل (٧-١٥) ثم نستخدم مادة لاصقة لتثبيت الليف وغلافه في الطوق حتى لايتحرك أثناء عملية الصقل. تتم عملية الصقل على عدة مراحل تبدأ المراحل الأولى باستخدام مراد كاشطة abrasives خشنة ثم أنعم فأنعم حتى نحصل على سطح لامع. يستعمل الماء مع المواد الكاشطة

لتسهيل انزلاق الليف وتبريده أثناء الصقل ، وتتطلب عملية الانتقال من مرحلة صقل إلى أخرى تنظيف الليف تنظيفاً جيدا .في المرحلة الأخيرة من عملية الصقل والتلميع نستخدم معجون له جزيئات صغيرة جداً تتراوح أقطارها بين 0.3μm و 1μm .

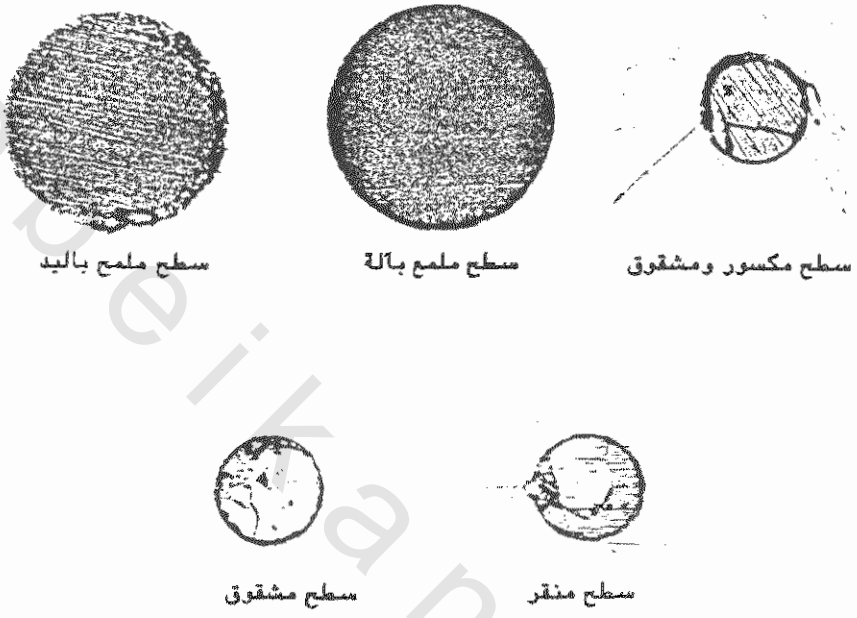


الشكل (٧-١٥) ليف بصري داخل طوق اسطواني

عند انتهاء العملية بالكامل يكون سطح طرف الليف على مستوى سطح طرف الطوق ومتعامداً مع محور الليف ، للتأكد من نعومة سطح الليف لابد من فحصه بالمجهر. قد تكون بعض الخدوش الصغيرة على اللب مقبولة وكذلك الندب على حواف الكساء. أما إذا كانت الخدوش أو الندب كبيرة فهي غير مقبولة ولابد من إعادة التلميع . نرى في الشكل (٧-١٦) صوراً مجهرية مختلفة لأسطح ملمعه بصورة جيدة وغير جيدة.

لاتقتصر عملية الصقل والتلميع آنفة الذكر على الألياف المربوطة بموصلات أو مقارن فكثير من القياسات تتطلب أن تكون نهاية الليف مصقولة ولامعة مثل قياس فتحة النفوذ العددية وقياس توهين الليف .

تستخدم طرق الخدش والقطع والصقل والتلميع بصفة عامة مع الألياف الزجاجية أما في الألياف البلاستيكية فإننا نستخدم التلميع فقط لأن البلاستيك لاينشق بشكل أملس مثل الزجاج .



الشكل (٧-١٦) صور مجهرية لأسطح ألياف ملمعة جيدة وغير جيدة

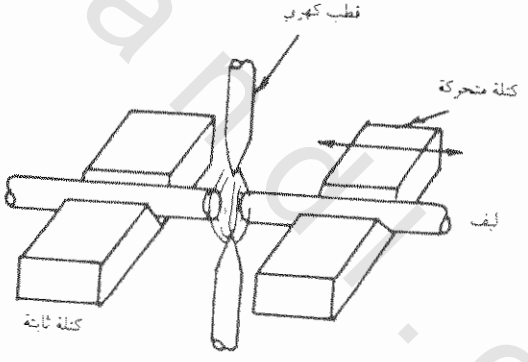
٧-٣ الوصلات الدائمة Splices

تتضمن تقنيات التوصيل الدائم صهر الليفين مع بعضهما أو تقييدهما مع بعضهما بعد التأكد من تراصفهما مستخدمين مواد لاصقة أو ميكانيكية أو كليهما معاً .

٧-٣-١ التوصيل الدائم بالصهر Fusion Splicing

يستخدم في هذه الطريقة القوس الكهربائي لصهر نهاية الألياف البصرية ولحامها مع بعضها كما في الشكل (٧-١٧) ، وقد تطورت الأجهزة المستخدمة لعمل التوصيل تطوراً كبيراً خلال السنوات الماضية فأصبح تراصف نهاية الألياف يتم باستخدام أجهزة تعتمد

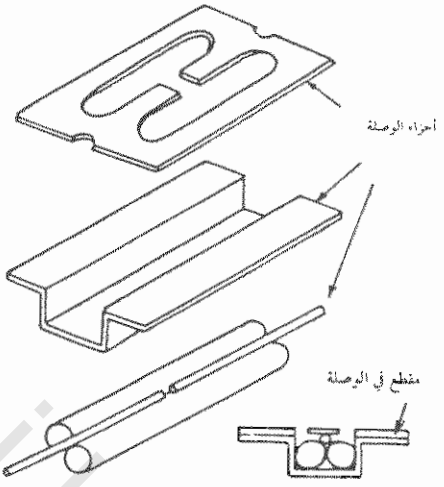
على المعالجات المصغرة microprocessors وشاشات العرض بدلاً من استخدام المجهر والنقل الميكانيكي لتراصف الألياف . كذلك يمكن فحص التراصف بمراقبة قيمة القدرة التي تعبر الوصلة . وذلك قبل أن يتم صهر الليفين . تتم عملية التوصيل بالصهر بعد تحضير أطراف الليف بطريقة الخدش والقطع . يبلغ الفقد في الوصلات الدائمة التجارية حوالي 0.25 dB . ومع الحرص في عمل التوصيل يمكن الإقلال من الفقد لكي ينخفض إلى 0.1dB. يمكن حماية منطقة الوصل بتغطيتها بمواد كيميائية مثل الغراء epoxy أو أنابيب بلاستيكية تتقلص بالحرارة مثل raychem ويستخدم الصهر بالقوس الكهربائي مع الألياف الزجاجية .



الشكل (٧- ١٧) طريقة الاندماج لعمل وصلة دائمة بين ليفين

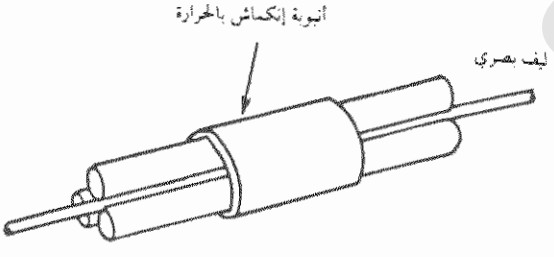
٧-٣-٢ التوصيلات الميكانيكية Mechanical Splices

استخدمت طرق عديدة لتراصف أطراف الألياف مع بعضها واستخدم الغراء لتثبيتها نبين بعضاً منها في الأشكال (٧-١٨) إلى (٧-٢٢) . ففي الشكل (٧-١٨) توضع الألياف العارية المطلوب توصيلها في الأخدود المكون بين اسطوانتين متماثلتين



الشكل (٧-١٨) طريقة الزنبرك والمجرى لعمل وصلة دائمة

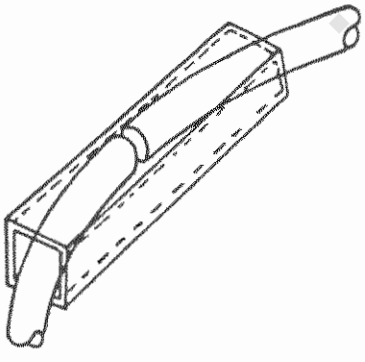
نصف قطر كل منهما أكبر من نصف قطر الليف . وتستخدم قطعة زنبركية تجعل كل طرف من طرفي الليف يرتكز على المرشدين الاسطوانيين ثم يضاف الغراء لتثبيت الوصلة. وقد استخدمت ثلاثة أسطوانات مرشدة وأنبوبة انكماش بالحرارة لعمل وصلة دائمة كما هي في الشكل (٧-١٩).



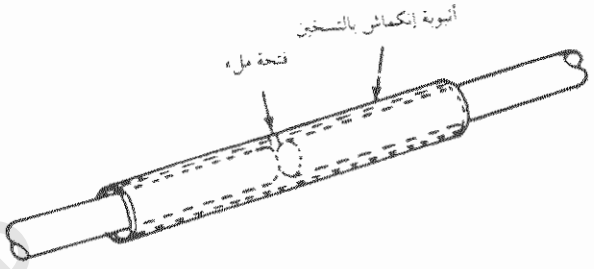
الشكل (٧-١٩) طريقة الثلاث مرشدات وأنبوبة انكماش لعمل وصلة دائمة

obeikandl.com

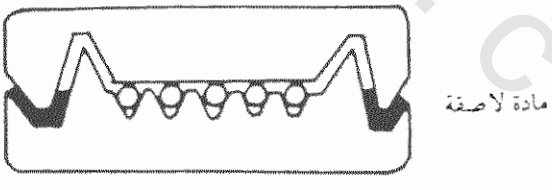
يمكن عمل وصلات دائمة باستخدام أنبوبة ذات مقطع مربع مساحته أكبر من مساحة مقطع الليف (الشكل (٧-٢٠)). توضع الألياف المراد توصيلها على سطح مستو وبصورة منحنية وهذا الترتيب يجعل الليفين منطبقي المحورين عند مستوى التماس ويدفع الليفين من الطرفين حتى يتقابلا ثم تملأ الأنبوبة بمادة غراء لإتمام الوصلة. يبلغ الفقد في هذا النوع من الوصلات حوالي 0.07dB للألياف المتدرجة . يمكن استخدام أنبوبة انكماش كما في الشكل (٧-٢١) وهي أنبوبة لها مقطع دائري الشكل يدخل بها الألياف المراد وصلها بعد تسوية الأوجه المستوية من نهاية كل منها ثم توضع مادة غروية عند تلاقي الليفين وتسخن أنبوبة الانكماش لتثبت الألياف في محلها وتقوي المنطقة المحيطة بالوصلة . أما في الكابلات متعددة الألياف فتستخدم وصلات مكونة من جزئين كما في الشكل (٧-٢٢) . يتكون الجزء الأول من قطعة من السليكون بها مجارى مستقيمة وهو الجزء الأسفل. أما الجزء الثاني وهو الجزء الأعلى فيتكون من مادة بلاستيكية. عند الوصل توضع الألياف في الأخاديد على شكل V في الجزء الأسفل وتدفع من الطرفين إلى أن تلتقي ثم توضع القطعة البلاستيكية عليها وتضغط الوصلة بضغط مناسب وفي نفس الوقت يوضع الغراء على الأطراف حتى يتماسك الجزء الأعلى والأسفل مع بعضهما. يمكن استخدام هذه الطريقة لوصل عدد كبير من الألياف تقع كل مجموعة منها في مستوى واحد. يبلغ الفقد في هذا النوع من الوصلات حوالي 0.2dB .



الشكل (٧-٢٠)وصلة الأنبوب مربعة المقطع



الشكل (٧ - ٢١) وصلة دائمة باستخدام أنبوبة انكماش بالتسخين



الشكل (٧- ٢٢) وصلة دائمة لكابل متعدد الألياف

obeikandl.com

٤-٧ الموصلات Connectors

تتطلب بعض الاستخدامات موصلات يمكن اعادة تعشيقها دون أي تغيير في خواص توصيلها. إن الحصول على موصلات ذات مواصفات ميكانيكية متشددة وعالية الجودة جعل تصميمها صعباً وتكلفتها عالية . للحصول على موصل جيد لابد من تحقيق مايلي :

١ - فقد قليل

يجب أن يكون الموصل قادراً على ضمان حد أدنى من عدم التراصف وعدم الانزياح والتلاصق بين أطراف الألياف بشكل تلقائي مع تكرار فصل وتوصيل الموصل. وليس كما هو الحال في الوصلات الدائمة التي لايمكن فيها مشاهدة الوصلة ضمن الموصل ولايمكن إجراء تصحيح للموقع. إذا كان النظام يحتوي على عدة موصلات يجب أن تكون هذه الموصلات فعّالة وأن يكون الفقد أقل مايمكن في كل منها.

٢ - كفاءة الاقتران

يجب أن تكون كفاءة الاقتران ضمن حدود معينة وأن لاتتغير كثيراً مهما تكرر فصل وتوصيل الموصل. وأن لاتتغير كفاءة الاقتران بين المجموعة الواحدة من الموصلات أو تكون كفاءة الاقتران مرتبطة بمهارة العامل المجمّع للموصل.

٣ - قوة التحمل

يجب أن لايتدنى التوصيل نتيجة القوى المؤثرة على جسم الموصل أو الشد على الكابل البصري.

٤ - الانسجام مع المحيط

يجب أن لاتتأثر الموصلات بالعوامل الخارجية مثل الرطوبة والغبار ودرجة الحرارة والمؤثرات الكيميائية والاهتزازات والضغوط العالية .

٥ - سهولة التجميع

يجب أن يكون تحضير الليف وربطه ضمن الموصل سهلاً وسريعاً.

٦ - سهولة الاستعمال

يجب أن يكون توصيل وفصل الموصل سهلاً .

obeikandi.com

٧ - الاقتصادية

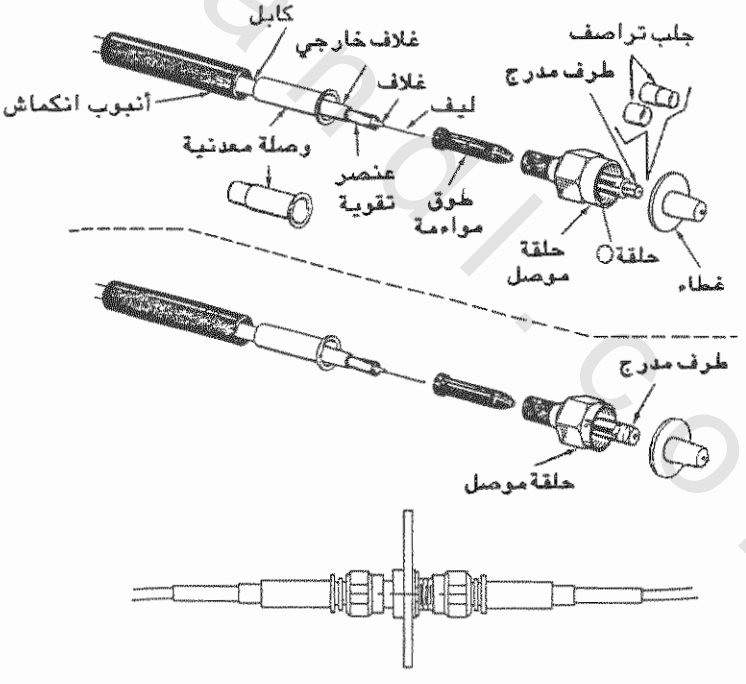
يجب أن يكون ثمن الموصل مناسباً ولو أن تكلفة الموصلات المتقنة ذات الفقد المنخفض عالية جداً وتستخدم في الأنظمة ذات معدلات الإرسال العالية . أما في الأنظمة ذات معدلات الإرسال المتوسط أو المنخفض فتستخدم موصلات بلاستيكية رخيصة .
يتراوح الفقد في الموصلات النموذجية بين 0.5 dB و 3dB وهو أكبر من فقد الوصلات الدائمة . يمكن زيادة كفاءة الاقتران بين الألياف باستخدام سائل مواءمة وهو أمر غير مرغوب فيه بسبب تبخره وتسربه من مكان الاتصال ونقص شفافيته مع الزمن . توجد موصلات بلاستيكية مسكوبة ذات أسعار أقل من الموصلات المعدنية لكنها أقل دقة وبالتالي ذات فقد أعلى.

إن السبب في زيادة الفقد في الموصلات عن الوصلات الدائمة يرجع إلى تباعد نهايات الأطراف عن بعضها في الموصل . إن الإفراط في الضغط عليها للحصول على تلاصق كامل بين الألياف قد يؤدي إلى تلف سطوحها الصقيلة. على العكس من الوصلات الدائمة التي نحرك فيها الألياف باعتدال إلى أن تتلامس وتلتحم.
صممت موصلات متنوعة تعتمد في معظمها على الوصلة التناكبية Butt تتألف الوصلات التناكبية من طوق ferrule لكل ليف ومن جلبة ضبط يركب فيها الليف.
نورد فيما يلي شرحاً موجزاً لأربعة أنواع من الموصلات وهي :(١) المحورية SMA (٢) المستدقة Tapered (٣) الجافة DNP (٤) الصفيفي Array .

١ - الموصلات المحورية SMA SMA Connectors

يشيع استخدام موصلات SMA في أنظمة الاتصالات البصرية العسكرية وفي صناعة أجهزة التجارب . أصبحت موصلات SMA قياسية لاستخدامات كثيرة وتصنع من قبل شركات عديدة . يمكن استبدال موصل مصنع من قبل شركة معينة بموصل مصنع من قبل شركة أخرى. تشمل المواصفات القياسية أبعاد أجزاء التعشيق في الموصل ولاتشمل

التفاصيل الداخلية أو طريقة حصول التراصف . تتشابه موصلات SMA المستخدمة لربط الألياف البصرية مع موصلات SMA المحورية المستخدمة في الترددات الراديوية. ويوضح الشكل (٧-٢٣) أجزاء موصل SMA ذو الجلبة المستقيمة . يحتوي هذا الموصل على جسم معدني بثقب دقيق في مقدمته يمسك.الليف العاري بطوق التراصف الأولي ويدخل في الجانب الخلفي بجسم التجميع body assembly ويثبت بغراء . تثبت عناصر التقوية والحماية للكابل بين جسم التجميع ، للحصول على تقوية ميكانيكية .يربط الموصل ببطاقة صقل معدنية ويقطع الليف الزائد ثم يصقل طرف الليف ويلمع . يتم الحصول على تراصف زاوي ومحوري من التكيف السلس للاطواق في الجلب الأنبوبية ، تستخدم بعض موصلات SMA نهاية مستدقة بها نقر dimples صغيرة توجه الليف نحو المركز.

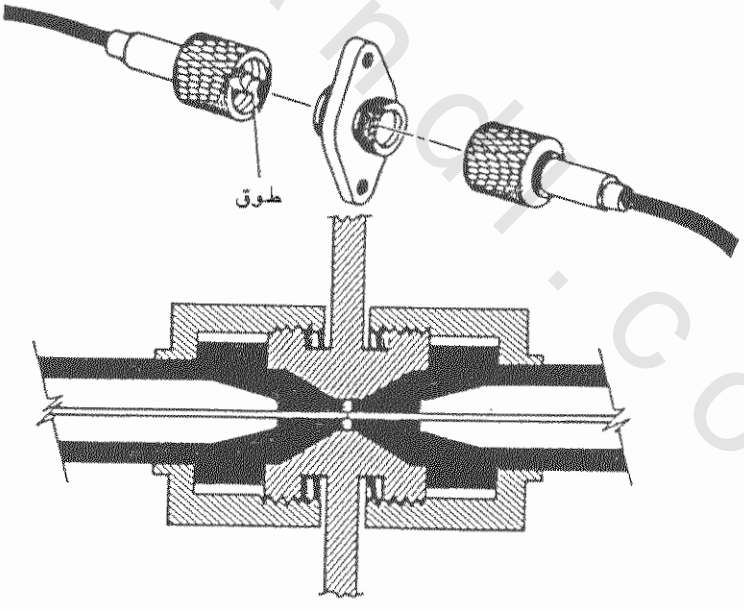


الشكل (٧-٢٣) أجزاء موصل SMA بجلبة مستقيمة

٢ - الموصل البسيط ذو الطوق البلاستيكي Plastic - Ferrule Simplex Connector

تمسك الألياف في الموصل البسيط ذو الطوق البلاستيكي بواسطة أطواق مستدقة تعشق داخل جلب مستدقة كما في الشكل (٧-٢٤) . تُدْخَل الجلب المستدقة داخل جسم اسطواني له ثقب في مركزه.يؤدي استخدام طوق مستدق وجلبة مستدقة إلى سهولة التراصف والتعشيق. يساعد بروز موجود على الطوق في التحكم بعمق اختراق الطوق داخل الجلبة .

تثبت أجزاء الموصل مع بعضها بالغراء أو بالحصر crimp . يتولى الغراء ربط الليف داخل الطوق ، أما الحصر المعدني فيخدم غرضين (١) يربط الأجزاء المعدنية للموصل مع الطوق (٢) يتولى ربط عناصر الحماية في الكابل مع الموصل حيث تحصر بين الطوق والأجزاء المعدنية للموصل .

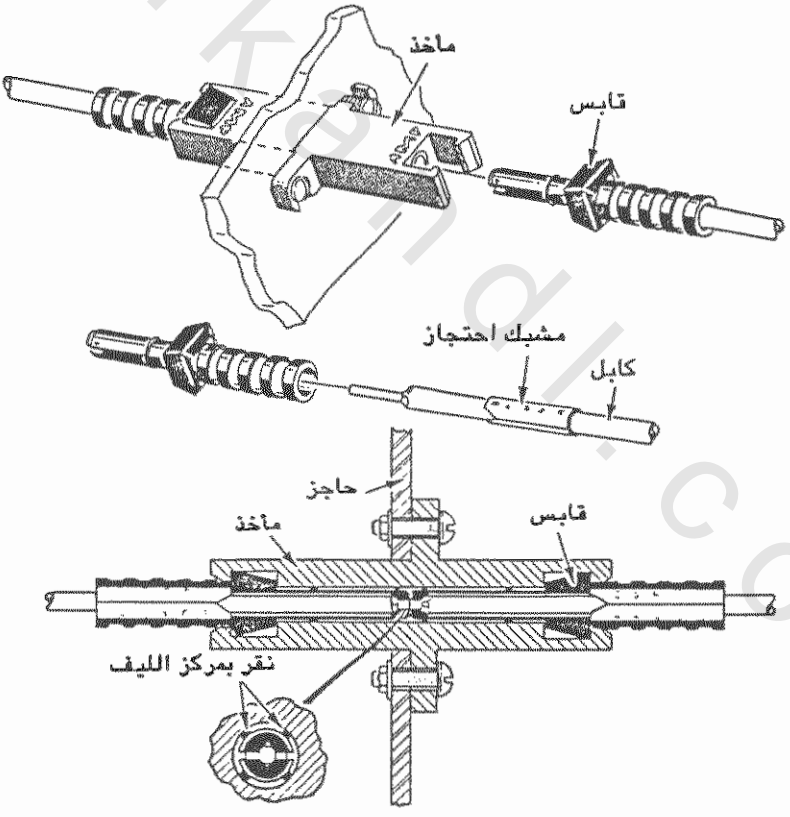


الشكل (٧-٢٤) موصل بسيط بطوق بلاستيكي

obeikandl.com

٣ - الموصل الجاف غير المصقول Dry No Polish (DNP) Connector

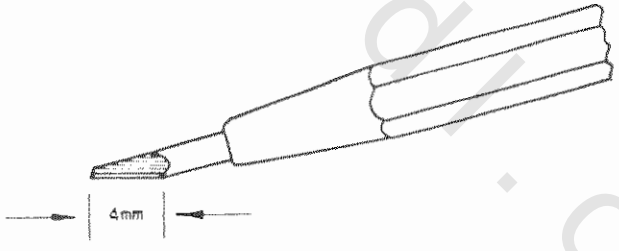
يصنع هذا النوع من الموصلات من مواد بلاستيكية ويشيع إستخدامه مع الألياف البلاستيكية . يستخدم غالباً في أنظمة الاتصالات البصرية الرخيصة حيث الاهتمام ينصب على التكلفة بدلاً من الأداء . يتراوح الفقد في هذه الموصلات بين 2dB و 3dB . وهو فقد قليل مقارنة بالفقد الإجمالي للنظام . تستخدم الألياف البلاستيكية لوصلات لايتجاوز طولها ٣٠ متراً وبسرعة تقل عن 30Mb/s .



الشكل (٧-٢٥) أجزاء موصل جاف غير مصقول DNP

obeikandl.com

لايحتاج موصل DNP الموضح بالشكل (٧-٢٥) إلى غراء أو حصر كما هو الحال في الموصلات التي تم شرحها آنفاً . تحتوي القوابس plugs الحاملة لليف على نهايات منشطرة باخاديد على شكل V . تسمح فتحة النهايات بمرور ألياف أكبر بقليل من المعتاد وتتولى الأخاديد تمركز الليف . يقوم مشبك احتجاز retention clip بمسك غلاف الليف داخل القابس . يحتوي المشبك على شوك barbs داخلي وخارجي تتولى ربط غلاف الليف مع الجزء الداخلي للقابس . يعشق القابسين بواسطة مقبس جلبة مستقيمة كما هو واضح في الشكل (٧-٢٥) . تعمل النقر dimples الموجودة على السطح الخارجي للقابس كنقاط ضغط تساعد على تمركز الليف . يكتفى بالحصول على نهاية ليف مصقولة باستخدام أداة قطع حادة كالتي بالشكل (٧-٢٦) دون الحاجة للتلميع .

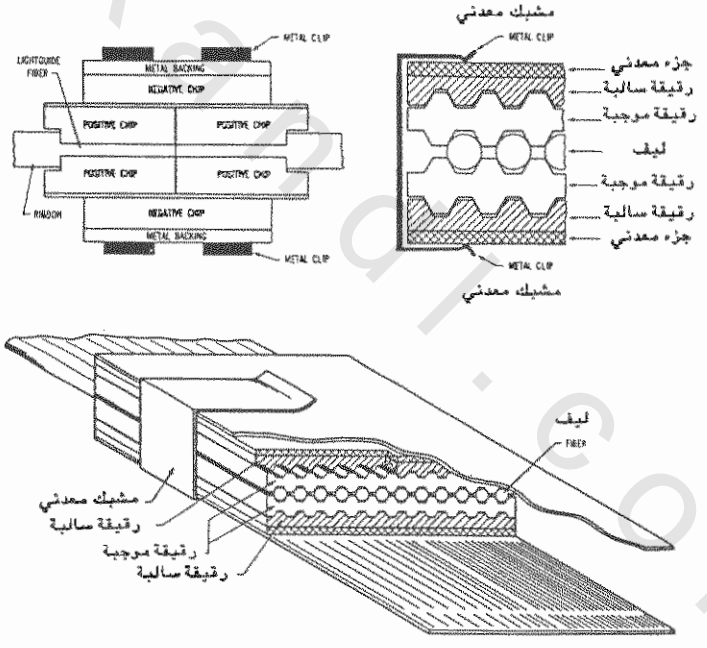


الشكل (٧ - ٢٦) أداة قطع حادة مصنوعة من الكارباید لقطع الليف

٤ - الموصل الصفيفي للكابل الشريطي Ribbon Cable Array Connector

يستخدم هذا النوع من الموصلات لتوصيل الكابلات الشريطية ribbon يتكون الموصل الصفيفي من نصفين ورقيقتين chips سالبتين بخلفيات معدنية ومشابك زنبركية spring clips كما هو موضح بالشكل (٧-٢٧) . يحتوي كل نصف صفيفي على

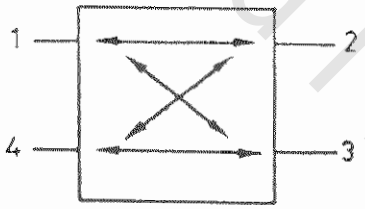
رقيقتين سليكونيتين موجبتين محفور بهما أخاديد. تلصق الألياف بالأنصاف الصفيفية قبل شحنها من المصنع . يؤدي صقل وتلميع الصفيفة إلى تحضير نهايات الليف للتوصيل. يتم تجميع الموصل بتراصف نصفي الصفيفة ضمن الرقيقتين السالبتين . تتراكب كل رقيقة سالبة مع نصفي الصفيفة ليتم تراصف الألياف . تستخدم المشابك الزنبركية لمنع أي تغير في وضع الألياف. ويستخدم سائل موائمة للإقلال من الفقد .قد يصل عدد الألياف الموصلة إلى ١٤٤ ليفاً مقسمة إلى ١٢ شريطاً يحتوي كل شريط على ١٢ ليفاً .



الشكل (٧- ٢٧) أجزاد موصل صفيفي لربط الكابل الشريطي

٧ - ٥ المقارن Couplers

لايقتصر ربط عناصر نظام الاتصالات على توصيل الألياف مع بعضها بل نحتاج إلى تقسيم القدرة أو تجميعها وكذلك ربط المنابع والكواشف بالألياف. يعرف المقرن coupler بأنه جهاز متعدد المنافذ. والمنفذ هو نقطة دخول أو خروج الضوء. توجد عدة أنواع من الفقد في المقرن. يبين الشكل (٧-٢٨) مقرن اتجاهي بأربعة منافذ. تشير الأسهم لاحتمال اتجاه سريان القدرة الضوئية خلال المقرن. إن الضوء الداخل إلى منفذ رقم1 يخرج من المنفذ رقم 2 والمنفذ رقم 3 ولايخرج ضوء من المنفذ رقم 4. كذلك فإن الضوء الداخل إلى منفذ رقم 4 يخرج من منفذ رقم 2 ومنفذ رقم 3 ولاشيء يخرج من منفذ رقم1. يعمل المنفذين 1 و 4 كمنافذ دخل أما المنفذين 2 و 3 فهي منافذ خرج. لو عكسنا اتجاه القدرة فستعمل المنافذ 2 و 3 كمنافذ دخل والمنافذ 1 و 4 كمنافذ خرج.



الشكل (٧-٢٨) مقرن اتجاهي بأربعة منافذ

لحساب مقدار الفقد في القدرة نفرض أن المنفذ رقم1هو منفذ الدخل والمنفذين 2 و3 هما منافذ الخرج حيث أن المنفذ رقم 2 هو منفذ الخرج الرئيسي throughput. أي أن القدرة الخارجة من منفذ رقم 2 دائما تساوي أو أكبر من القدرة الخارجة من منفذ رقم 3 وهي القدرة المتفرعة.

obeikandi.com

يعبر عن الفقد الرئيسي في المنفذ رقم 2 للقدرة الداخلة من منفذ رقم 1 بالآتي :

$$Loss_2\,(dB) = 10\,Log\left(\frac{P_2}{P_1}\right) \quad \ldots\ldots\ldots (7.11)$$

يعبر عن الفقد الفرعي للمنفذ رقم 3 للقدرة الداخلة من منفذ رقم 1 بالآتي :-

$$Loss_3\,(dB) = 10\,Log\left(\frac{P_3}{P_1}\right) \quad \ldots\ldots\ldots (7.12)$$

يعبر عن الاتجاهية directionality بأنها النسبة بين القدرة غير المرغوبة إلى القدرة الداخلة من مدخل رقم 1 .

$$Loss_4\,(dB) = 10\,Log\left(\frac{P_4}{P_1}\right) \quad \ldots\ldots\ldots (7.13)$$

عادة ماتكون قيم العزل isolation أو الاتجاهية directionality لتفرع جيد عالية تصل إلى 40dB أو أكثر.

يعبر عن الفقد الزائد excess بأنه النسبة بين القدرة الخارجة من المنفذين 2 و 3 إلى القدرة الداخلة من المنفذ رقم 1 . يحصل الفقد الزائد إذا كان المقرن غير مثالي. إن سبب الفقد داخل المقرن يرجع إلى مكونات المقرن نفسه إذ قد يحتوي على ألياف لها فقد مرتفع أو غير متراصفة أو عدسات غير مثالية بالإضافة لفقد الانعكاس عند دخول الضوء وعند خروجه. أنواع أخرى من الفقد يجب اعتبارها وهي ناتجة عن عدم تواءم الأقطار ومنافذ فتحات النفوذ العددية للمقرن coupler والليف المُقْرَنْ coupled. تستخدم المقارن لشطر split القدرة الداخلة وتعبر عن النسبة بين القدرة الرئيسية والقدرة الفرعية أي $\frac{P_2}{P_3}$.

ويتراوح بين 1:1 حتى 1:10 . يبين الجدول رقم (٧-٢) نسب الانشطار splitting ratios والقدرات الرئيسية والفرعية .

obeikandl.com

الجدول رقم (٧-٢)

الفقد لمقارن نموذجية اتجاهية ذات أربعة منافذ

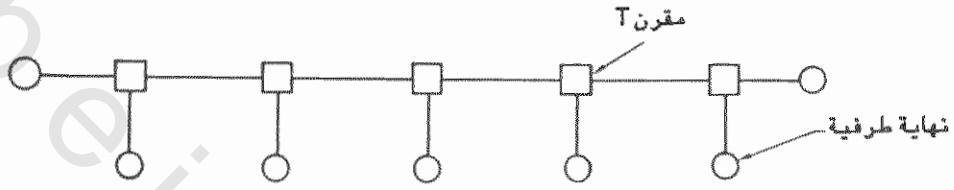
نسبة الانشطار	الفقد الرئيسي (dB)	الفقد الفرعي (dB)
1:1	3	3
1:2	1.8	4.8
1:3	1.25	6
1:6	0.66	8.5
1:9	0.46	10
1:10	0.41	10.4

توجد عدة أنواع من المقارن تستخدم بصفة خاصة في شبكات الاتصالات المحلية. نعطي فيمايلي نبذة عن (١) المقرن T (٢) المقرن النجمي.

(١) مقرن T Tee Coupler

يتكون مقرن T من ثلاثة منافذ . يبين الشكل (٧-٢٩) استخدام المقرن T مع خط رئيسي Bus . يقوم المقرن عند كل نقطة التقاء node بشطر جزء من القدرة الرئيسية المحمولة في الخط الرئيسي ويعطيها إلى مرسل ومستقبل في الأجهزة المرفقة. كلما ازداد عدد نقاط الالتقاء على الخط الرئيسي كلما ازدادت نسب الانشطار وقلت قيمة الضوء المتفرع .

obeikandl.com



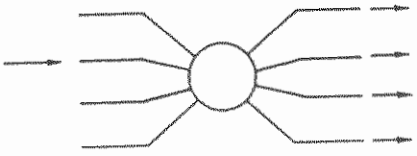
الشكل (٧-٢٩) شبكة T

(٢) المقرن النجمي Star Coupler

يبين الشكل (٧-٣٠) رسماً تخطيطياً لموصل نجمي له عدد متساوي من المداخل والمخارج . إذا كانت الشبكة تحتوي على نهايات طرفية بعدد N فيجب أن يكون عدد المنافذ للمقرن هو 2N . يتوزع الضوء الداخل إلى أي منفذ بالتساوي على بقية منافذ الخرج .

إن فقد الإدخال insertion loss في المقرن النجمي هي النسبة بين القدرة عند أي منفذ خرج إلى القدرة الداخلة . لذا فإن فقد الإدخال يتناسب عكسياً مع عدد النهايات الطرفية terminals .

obeikandl.com



الشكل (٧-٣٠) مقرن نجمي

$$Loss_{ins} = 10 \text{ Log } \frac{1}{N} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (7.14)$$

إن الفقد لايزداد خطياً بزيادة عدد النهايات الطرفية.

إذا أضفنا الفقد الزائد وفقد المقرن فإن الفقد الاجمالي L_T يصبح :

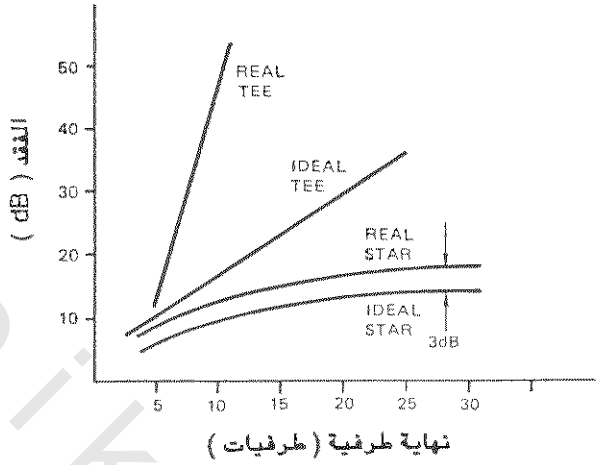
$$L_T = 10 \text{ Log } \frac{1}{N} + 10 \text{ Log } \left(\frac{P_2 + P_3}{P_1} \right) + 2 L_C \quad \ldots\ldots\ldots (7.15)$$

حيث أن L_C هو فقد المقرن.

تستخدم المقارن النجمية لربط عدد كبير من النهايات الطرفية للشبكة.

فرضنا في النقاش السابق عن توزيع القدرة في المقارن بأنها نموذجية والواقع العملي غير ذلك . يبين الشكل (٧-٣١) مقارنة للفقد مقابل عدد النهايات الطرفية لمقارن T ونجمية مثالية ideal وواقعية real.

obeikandl.com



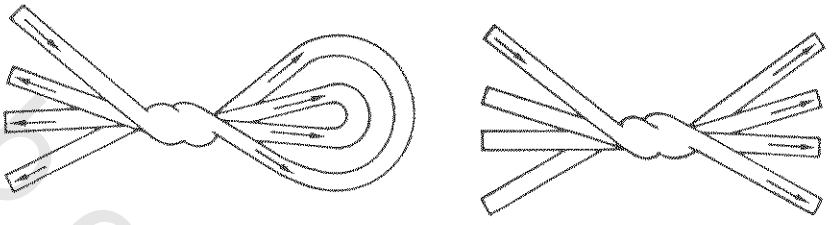
الشكل (٧ - ٣١) الفقد مقابل عدد النهايات الطرفية لمقارن T ومقارن نجمية

٧ - ٥-١ بنية المقرن Coupler Structure

ابتدعت أنواع كثيرة من المقارن تقوم بتقسيم القدرة وتجميعها وقرن المنابع والكواشف إلى الليف البصري ، تعامل معظم المقارن كصناديق سوداء قد لايهتم كثير من المستخدمين ببنيتها الداخلية . لتعميم الفائدة نستعرض فيما يلي بنى (١) المقارن المنصهرة (٢) مقرن شاطر الحزمة (٣) مقرن تجميع التقسيم حسب طول الموجة.

(١) المقارن المنصهرة Fused Couplers

تتكون المقارن المنصهرة من مجموعة من الألياف تلف حول بعضها في المركز ثم تسخن . عندما يذوب الزجاج تتكون كتلة في المركز تسمح للضوء الداخل من أي ليف بالتوجه إلى الألياف الأخرى . يبين الشكل (٧-٣٢ أ) مقرن نجمي مرسل حيث تقع أطراف الألياف على نهايتي القسم المنصهر. وفي الشكل (٧-٣٢ ب) المقرن العاكس حيث تقع نهايات الألياف في جهة واحدة من القسم المنصهر.



(ب) (أ)

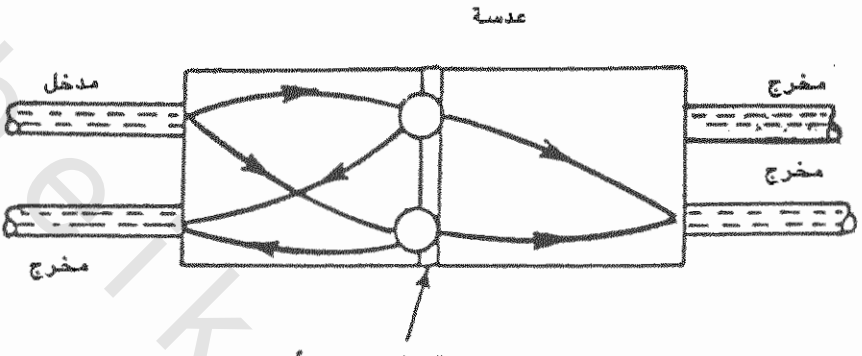
الشكل (٧ - ٣٢) مقارن نجمية منصهرة (أ) النجمة الناقلة (ب) النجمة العاكسة

(٢) مقرن شاطر الحزمة Beam Splitter Coupler

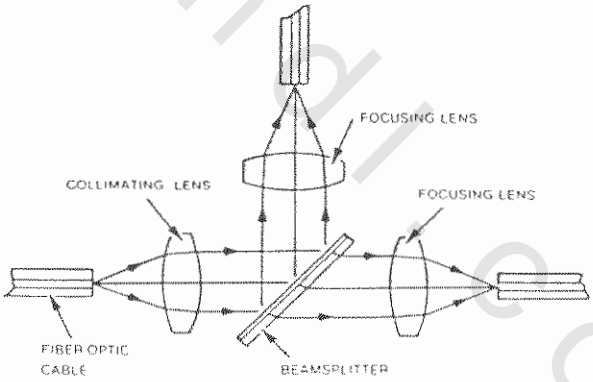
يحتوي المقرن على صفيحة شطر الحزمة beamsplitting plate كما في الشكل (٧-٣٣ أ) وهي صفيحة مغطاة بمادة عاكسة جزئياً . تعكس الصفيحة جزءاً من الضوء الساقط عليها وتمرر الجزء الآخر. تعتمد النسبة بين الضوء المنعكس والمار خلالها على طبقة التغطية coating . نظراً لتباعد شاطر الحزمة عن الألياف يحصل فقد في الضوء . لذا تستخدم عدسات لتجميع الضوء وتركيزه على الليف .

يبين الشكل (٧-٣٣ب) شكلاً آخر لمقرن شاطر الحزمة . يتألف المقرن من عدستين وصفيحة عاكسة جزئياً . يكون ليفا التوصيل منزاحين عن محوري العدستين عندما تكون البوابة 1 مدخلاً تنقل العدستان المجمعتان الضوء من البوابة 1 إلى الليف في البوابة رقم 2 أما الضوء المنعكس من الصفيحة فإنه يرتسم imaged على البوابة 3 ولايصل أي جزء من الضوء إلى البوابة 4 . وتتوزع المداخل عند البوابات الأخرى بطريقة متشابهه .

المقارن شاطرة الحزمة هي أجهزة تقسيم الاتساع . فهي توزع اتساع الموجة الواردة إلى النسب المرغوبة. يمكن انتاج مقارن تقوم بتقسيم جبهة الموجه wave front .



(أ) الاقتران باستخدام العدسات



(ب) الاقتران باستخدام شاطر الحزمة

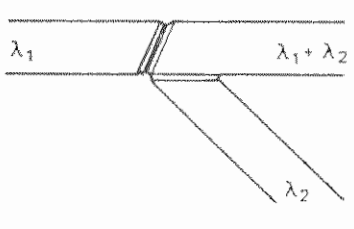
الشكل (٧ - ٣٣) الاقتران باستخدام العدسات وشاطر الحزمة

obeikandl.com

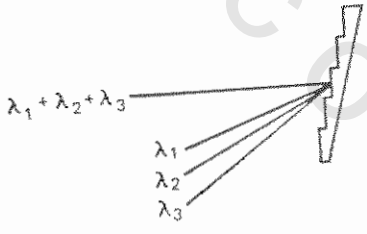
٣- مقرن تجميع التقسيم حسب طول الموجه Wavelength Division MutiplexingCoupler

في هذا النوع من المقارن ينقسم الضوء المنعكس أو المار حسب الطول الموجي للإشارة. يبين الشكل (٧-٣٤) نوعين من هذه المقارن. يستخدم أحدهما محزز الانعراج diffraction grating وهو صفيفة array من خطوط عاكسة دقيقة ومتوازية موزعة حسب الطول الموجي. بسبب حجم المحزز فإن قوانين الانعكاس والانكسار تستبدل بقوانين الانعراج. يحصل الانعراج بسبب التفاعل بين الموجة والشيء object وهو المحزز في هذه الحالة . يؤدي الانعراج إلى حيود الموجات عن طريقها. حيث يركز المحزز الضوء في عدة اتجاهات. تحدد عدد الخطوط المتوازية والمسافة بينها عدد القنوات المنعرجة . يمكن استخدام المحزز بشكل عكسي إذ يقوم بتجميع الأطوال الموجية مع بعضها بدلاً من تفريقها . يمكن استخدام محزز الانعراج لنظم تستخدم حتى ١٠ قنوات .

النوع الآخر من هذا المقارن يستخدم المرشح البصري optical filter لتفريق الأطوال الموجية . تستخدم لهذا الغرض مادة تلوانية dichroic وهي مادة تعكس أو تمرر الضوء حسب الطول الموجي : يبين الشكل (٧-٣٤ ب) رسماً توضيحياً لهذا المقرن حيث يتكون من ثلاثة ألياف بصرية . توضع المادة التلوانية بين الليفين اللذين على استقامة واحدة وذلك للتحكم بالضوء حسب الطول الموجي. يمكن لهذا المرشح أن يفرق أطوال موجية الفرق بينها في حدود 100nm.



(ب) مرشح بصري



(أ) محزز الانعراج

الشكل (٧ - ٣٤) مقارن تجميع التقسيم حسب طول الموجة

٧-٥-٢ اقتران المنبع Source Coupling

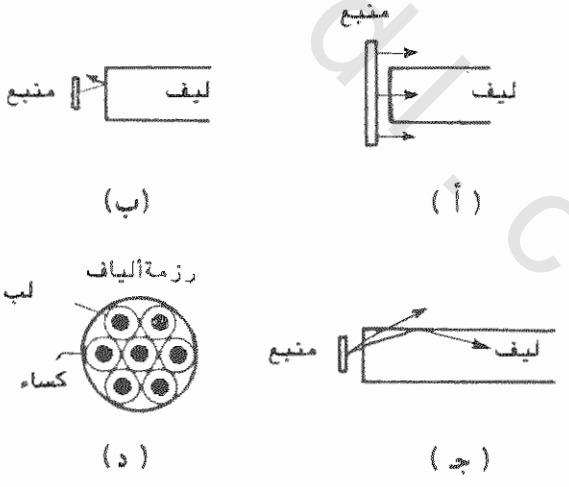
للحصول على أكبر اقتران ممكن للقدرة الضوئية بين المنبع والليف البصري · يجب موائمة مساحيتهما وفتحات نفوذهما العددية والاقلال من الضوء المنعكس من سطح الليف وفقد الرزم · اقترحت عدة طرق لزيادة كفاءة الاقتران المعرفة بالمعادلة التالية :

$$\eta = \frac{P_f}{P_S} \quad \text{..... (7.16)}$$

حيث أن P_f هي القدرة في الليف و P_S هي القدرة المنبعثة من المنبع · ويقدر الفقد L بالديسبل كما يلي :

$$L = -10 \text{ Log } \eta \quad \text{..... (7.17)}$$

ويبين الشكل (٧ - ٣٥) المشكلات التي تؤدي إلى فقد الاقتران نستعرضها في الفقرات التالية ·



الشكل (٧-٣٥) أنواع فقد اقتران المنبع

أ - فقد عدم مواءمة المساحة Area Mismatch

إذا كانت مساحة المنبع أكبر من مساحة لب الليف فإن جزءاً من القدرة المنبعثة سيسقط على المساحة الواقعة خارج مساحة اللب الشكل (٧-٣٥ أ) . لذا لايتمكن من الاقتران ويقاس النقص في الكفاءة بواسطة النسبة بين مساحة لب الليف A_c إلى مساحة المنبع A_s أي $\frac{A_c}{A_s}$. أما إذا كانت مساحة المنبع أصغر من مساحة الليف فإن الفقد يزول. يمكن معالجة ذلك باستخدام عدسات مناسبة تقوم بتركيز الضوء المنبعث من المنبع ليواءم لب الليف .

ب - فقد الانعكاس Reflection Loss

يؤدي وجود ثغرة هوائية بين المنبع والليف إلى انعكاس الضوء الساقط على الليف (الشكل ٧-٣٥ ب) . فإذا كان الليف مصنوعاً من الزجاج فإن الفقد الحاصل عند السطح هواء - زجاج يبلغ 0.177dB . إذا أردنا الاقلال من هذا النوع من الفقد يمكن وضع سائل مواءمة بين المنبع والليف أو أن يكون المنبع على تماس مع الليف .

جـ - فقد فتحة النفوذ العددية Numerical Aperture Loss

يشترط في اقتران الضوء المنبعث من المنبع أن تكون زاوية سقوطه ضمن زاوية قبول الليف كما في الشكل (٧ - ٣٥ جـ) . تعطي كفاءة الاقتران نتيجة ذلك بالآتي :

$$\eta = NA^2 \quad \text{..... (7.18)}$$

وذلك لليف عتبي ومنبع لامبرتي مثل الثنائي السطحي الباعث للضوء LED . للإقلال من هذا النوع من الفقد يمكن استخدام منابع ذات فتحات نفوذ عددية صغيرة ومواءمة لفتحات النفوذ العددية للألياف مثل ثنائي الليزر وثنائي الحافة .

د - فقد الرزم Packing Fraction Loss

تستخدم في بعض التطبيقات مجموعة من الألياف البصرية على شكل حزمة كما

هو في الشكل (٧-٣٥ د) حيث ترزم عدة ألياف وتتلامس أغلفتها . يؤدي ذلك إلى : (١) زيادة مساحة الليف المستقبل ليتواءم مع مساحة المنبع (٢) تصدر المنابع الكبيرة ضوءاً أكثرمن المنابع الصغيرة فيمكن قرن قدرة أكثر بالحزمة مما هو بالنسبة لليف المفرد .

(٣) ان انقطاع أحد الألياف لايؤدي إلى قطع الاتصال وسيتأثر مقدار القدرة المنقولة فقط (٤) يمكن أن تستعمل الحزمة لتوزيع المعلومات إلى عدة محطات بواسطة فصل الحزمة وتحويل الألياف المنفصلة إلى عدة مسارات .

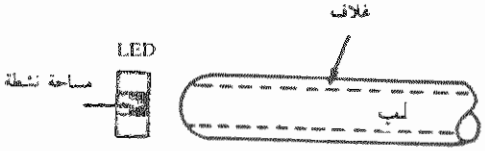
إن ضوء المنبع الذي يصطدم بالكساء أو الفراغ الهوائي بين الألياف سيفقد . وإن كفاءة الاقتران ستنقص بسبب كفاءة الرزم (η_{Pf}) packing fraction التي تساوي نسبة مجموع مساحات اللب إلى مساحة الرزمة . تتراوح قيم كفاءات الرزم النموذجية بين 0.4 و 0.75 . قد يحصل تبادل معلومات بين الألياف رقيقة الكساء ولكن ذلك ليس مهماً لأن كل ليف يحمل نفس المعلومات .

للإقلال من الفقد الناتج من اقتران ضوء المنبع لليف البصري فإن شركات منتجة كثيرة بدأت تُسوّق منابع بذيل ليفي قصير مربوط بالمنبع وجاهز للتوصيل الدائم أو التوصيل غير الدائم إلى الليف المرسل. سنستعرض طريقة توصيل هذا الليف مع المنبع في الفصل الثامن . ولو أن تفاصيل الاقتران بين المنبع والذيل قد لاتكون معروفة للمستخدم. يحتاج مصمم النظام أن يعرف القدرة المنبعثة من الذيل وحجم اللب ذاته وهل هو عتبي أو متدرج . يجب التأكد عند شراء المنبع إذا كانت قدرة الخرج الصادرة من الباعث مباشرة أو القدرة التي تنبثق من الليف المذنّب ، إن القدرة الصادرة من طرف الليف هي أصغر بكثير في معظم الحالات من القدرة المنبعثة من الباعث بسبب كفاءة الاقتران الصغيرة .

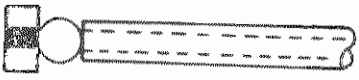
٧ - ٦ الخلاصة Summary

أن صغر الألياف البصرية والمنابع المستخدمة في اتصالات الألياف البصرية حتمت ضرورة وجود مواصفات دقيقة لعناصر النظام المستخدمة للحصول على أكبر اقتران للضوء في النظام . استعرضنا في بداية الفصل العوامل المختلفة المسببة للفقد في النظام وقسمناها إلى عوامل داخلية وخارجية ووجدنا أن الإقلال من أسباب الفقد الداخلية تحتاج إلى دقة متناهية للحصول على ألياف متماثلة تماماً من حيث تمركز لبها وشكله وحجمه وفتحة نفوذه العددية . أما الأسباب الخارجية فتتطلب كثيراً من الحرص والانتباه للحصول على وصلات دائمة وفعالة وموصلات ومقارن تعطي أكبر كفاءة اقتران ممكنة . وجدنا أن تحضير نهايات الليف بدقة وعناية وتراصف الألياف وعدم انزياحها يؤديان إلى الحصول على وصلات دائمة ذات فقد لايتعدى 0.2dB كما أن الموصلات الجيدة لها فقد يقل عن 1dB .

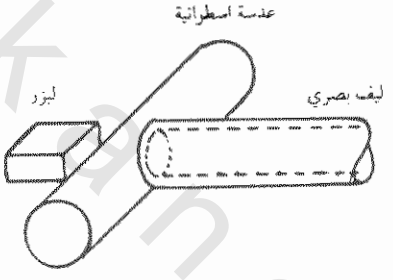
تستخدم المقارن في تقسيم القدرة البصرية واقتران الضوء من المنبع إلى الليف أو من الليف إلى الكاشف . وقد وجدنا أن كفاءة الاقتران مع المنبع تعتمد على نمط الاشعاع للمنبع وعلى فتحة النفوذ العددية للمنبع . يكثر الفقد كلما زادت زاوية إشعاع المنبع ، إذ نجد الضوء المنبعث من الباعثات السطحية يقع جزء كبير منه خارج زاوية قبول الليف مما يضطرنا إلى استخدام منابع ذات زوايا إشعاع أقل أو استعمال العدسات للحصول على حزم ضيقة كما في الشكل (٧-٣٦) تناسب الليف المستخدم ، أما اقتران الضوء من الليف الى الكاشف فإنه لايسبب مشكلة نظراً لكبر حجم الكاشف مقارنة بلب الليف .



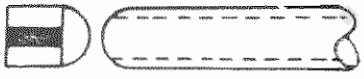
(أ) الليف البصري المنحنى في نهايته



(ب) عدسة صغيرة تلامس المنبع والليف البصري



(جـ) طريقة العدسة الاسطوانية لربط ليزر بليف بصري



(د) تشكيل كروي لسطح المنبع البصري والليف البصري

الشكل (٧-٣٦) استخدام العدسات لاقتران المنبع بالليف

obeikandi.com

الفصل السابع

أسئلة

١ - ماهي مبادئ توصيل الألياف البصرية ، إشرحها بالتفصيل.

٢ - توجد ثلاثة أسباب لعدم تراصف الألياف ، إشرحها.

٣ - لماذا تصقل وتلمع النهايات عند عمل الموصلات ؟

٤ - لماذا نستخدم سائل موائمة في الموصلات والوصلات الدائمة ؟

٥ - ماهي العناصر التي تسبب الفقد عند توصيل ألياف مختلفة ؟

٦ - ماهي أهم أسباب الفقد عند عدم تراصف الألياف ؟

٧ - لماذا يكون الفقد في الليف أحادي النمط أكثر حساسية لعدم تطابق الموصل أو الوصلة الدائمة عما هو عليه في الليف متعدد النمط ؟

٨ - كيف يتأثر تباعد الأطراف وعدم التراصف الزاوي بفتحة النفوذ العددية .

١٠ - لماذا يحصل الفقد في الوصلات الدائمة ؟

١١ - أذكر أنواع الموصلات ومتى نستخدم كل نوع؟

١٢ - أذكر أنواع المقارن ومتى نستخدم كل نوع ؟

١٣ - ماهو المرشح البصري وما فكرته الأساسية ؟

١٤ - ماهي أسباب الفقد في إقتران المنبع الضوئي مع الليف البصري؟

١٥ - كيف يمكن الإقلال من فقد الاقتران ؟

مسائل

١ - استنتج المعادلة رقم (7.1) بواسطة حساب التراكب للب الليفين وذلك باستخدام التكامل .

٢ - بإستخدام المعادلة رقم (7.1) إرسم بيانياً الفقد مقابل الانزياح الجانبي مستخدماً ست نقاط في الأقل.

obeikandl.com

٣ - إرسم بيانياً الفقد بالديسيبل مقابل عدم التراصف الزاوي لليف عتبي متعدد النمط فتحة نفوذه العددية NA= 0.2 · يملأ الفراغ الفاصل بينهما هواء وتتراوح زاوية عدم التراصف الزاوي بين 0^o و 15^o ·

٤ - أرسم بيانياً الفقد بالديسيبل مقابل عدم التراصف الزاوي لليف أحادي النمط فيه $n_1 = 1.48$, $n_2 = 1.475$, $V = 2.4$ يتراوح عدم التراصف الزاوي بين 0^o و 15^o · افرض أن الطول الموجي $\lambda = 0.82\ \mu m$ كرر المسألة لطول موجي $\lambda = 1.55\ \mu m$ ·

٥ - استنتج المعادلة رقم (7.6) ·

٦ - أرسم بيانياً الفقد بالديسيبل مقابل تباعد أطراف ليف قطره 50 µm وفتحة نفوذه العددية NA = 0.2 ومعامل انكسار اللب $n_1 = 1.48$ ومعامل انكسار الكساء $n_2 = 1.475$ ·

٧ - إحسب كفاءة الاقتران بين منبع بصري زاوية إشعاعه عند منتصف القدرة تساوي 35^o وبين ليف متعدد النمط فتحة نفوذه العددية تساوي 0.2 ·

٨ - أوجد الفقد الناتج عن انزياح جانبي مقداره 10µm لليف عتبي قطره 50µm ومعامل انكساره $n_1 = 1.48$ وفتحة نفوذه العددية 0.25 (افرض أن الفراغ بين الليفين هو الهواء) ·

٩ - أوجد الفقد في ليف أحادي النمط قطره 10µm وقطر الحزمة الجاوسية الساقطة عليه 6µm إذا كان مقدار الانزياح الجانبي 2µm على فرض أن الليفين ملتصقين مع بعضهما ·

١٠- مامقدار فقد الانعكاس عند الأطراف في الليف المذكور بالمسألة رقم ١٠

١١- إذا كان لدينا ليف قطره 50µm ومعامل انكساره $n_1 = 1.47$ وفتحة نفوذه العددية 0.24 أوجد الآتي :

أ - مقدار الفقد إذا كان هناك عدم تراصف زاوي مقداره 5^o · ولايوجد سائل موائمة بين الليفين·

ب - مقدار الفقد إذا استخدمنا سائل موائمة معامل انكساره 1.47·

obeikandl.com

جـ - أوجد الفرق بين الفقد في الجزء أ والجزء ب وأيهما أفضل ؟

١٢ - أوجد زاوية الانزياح القصوى لليف المذكور في المسألة رقم ٤ إذا كان فقد عدم التراصف الزاوي لايزيد عن 0.4dB ·

١٣ - أوجد حجم البقعة الجاوسية اللازمة للحصول على فقد مقداره 1dB في ليف أحادي النمط قطره 10μm و $n_1 = 1.48$ و $n_2 = 1.47$ يعمل عند $\lambda = 1.3\ \mu m$ وعدم التراصف الزاوي يبلغ 2^o ·

١٤ - أوجد الفقد نتيجة تباعد الألياف في المسألة رقم ٤ إذا كانت المسافة الفاصلة بين الليفين 15μm ·

أ - عدم وجود سائل موائمة ·

ب - وجود سائل موائمة معامل انكساره 1.47 ·

١٥ - إذا كان لدينا ليف قطره 100 μm ومعامل انكساره $n_1 = 1.48$ وفتحة نفوذه العددية 0.2 أردنا توصيله بليف آخر من نفس النوع أوجد الآتي إذا كان الانزياح الجانبي 12 μm وعدم التراصف الزاوي 5^o وتباعد الأطراف 10μm ·

أ - الفقد الكلي بدون سائل موائمة ·

ب - الفقد الكلي بوجود سائل موائمة معامل انكساره 1.48.

جـ - أوجد الفقد نتيجة الانعكاس ·

١٦ - لو أردنا توصيل ليفين قطر الليف المرسل 62 μm ومعامل انكساره $n_1 = 1.46$ وفتحة نفوذه العددية $NA = 0.2$ وقطر الليف المستقبل 50μm ومعامل انكساره $n_1 = 1.46$ وفتحة نفوذه العددية 0.24 · أوجد الفقد نتيجة الآتي :

أ - عدم تساوي أقطار الألياف ·

ب- عدم تطابق فتحات النفوذ العددية ·

١٧ - أوجد الفقد نتيجة إقتران الضوء بين منبع قدرته $P_S = 100\ \mu w$ وليف قدرة دخله $P_f = 50\ \mu w$ ·

obeikandl.com