الاتحـــــــــاد الـــدولـــــــــــي للاتصـــــــــــالات

ITU-T G.650.2

(2005/01)

قطـــاع تقييس الاتصـــالات
في الاتحاد الدولي للاتصالات

السلسلة G: أنظمة الإرسال ووسائطه
والأنظمة والشبكات الرقمية

خصائص وسائط الإرسال – كبلات الألياف البصرية

تعاريف وطرائق اختبار النعوت الإحصائية وغير الخطية للألياف والكبلات أحادية الأسلوب

التوصيـــة ITU-T G.650.2

الاتحاد الدولي للاتصالات

توصيات السلسلة G الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات

أنظمة الإرسال ووسائطه، والأنظمة والشبكات الرقمية

التوصيلات والدارات الهاتفية الدولية	G.199 – G.100
الخصائص العامة المشتركة لكل الأنظمة التماثلية بموجات حاملة	G.299 – G.200
الخصائص الفردية للأنظمة الهاتفية الدولية بموجات حاملة على خطوط معدنية	G.399 – G.300
الخصائص العامة للأنظمة الهاتفية الدولية الراديوية أو الساتلية والتوصيل البيني مع الأنظمة على خطوط معدنية	G.449 – G.400
تنسيق المهاتفة الراديوية والمهاتفة السلكية	G.499 – G.450
خصائص وسائط الإرسال	G.699 – G.600
اعتبارات عامة	G.609 – G.600
أزواج كبلات متناظرة	G.619 – G.610
أزواج الكبلات البرية متحدة المحور	G.629 – G.620
الكبلات البحرية	G.649 – G.630
كبلات الألياف البصرية	**G.659 – G.650**
خصائص المكونات والأنظمة الفرعية البصرية	G.699 – G.660
تجهيزات مطرافية رقمية	G.799 – G.700
الشبكات الرقمية	G.899 – G.800
الأقسام الرقمية وأنظمة الخطوط الرقمية	G.999 – G.900
نوعية الخدمة وأداء الإرسال – الجوانب الخاصة والجوانب المتعلقة بالمستعمل	G.1999 – G.1000
خصائص وسائط الإرسال	G.6999 – G.6000
المعطيات عبر شبكات النقل – الجوانب العامة	G.7999 – G.7000
جوانب شبكة الإثرنت غير شبكات النقل	G.8999 – G.8000
شبكات النفاذ	G.9999 – G.9000

لمزيد من التفاصيل يرجى الرجوع إلى قائمة التوصيات الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات.

تعاريف وطرائق اختبار النعوت الإحصائية وغير الخطية للألياف والكبلات أحادية الأسلوب

ملخص

تتضمن هذه التوصية تعاريف المعلمات الإحصائية وغير الخطية للألياف الكبلات أحادية الأسلوب. كما تتضمن طرائق الاختبار المرجعي وطرائق الاختبار البديلة التي تسمح بتحديد خصائص هذه المعلمات.

المصدر

وافقت لجنة الدراسات رقم 15 (2005-2008) التابعة لقطاع تقييس الاتصالات على التوصية ITU-T G.650-2 في 13 يناير 2005 بموجب الإجراء الوارد في التوصية ITU-T A.8.

سرد تاريخي

الصيغة		اعتمدت في
1.0	G.650	1993.03.12
2.0	G.650	1997.04.08
3.0	G.650	2000.10.06
4.0	G.650.2	2002.06.29
4.1	G.650.2 (2002) Amd.1	2003.03.16
5.0	G.650.2	2005.01.13

تمهيد

الاتحاد الدولي للاتصالات وكالة متخصصة للأمم المتحدة في ميدان الاتصالات. وقطاع تقييس الاتصالات (ITU-T) هو هيئة دائمة في الاتحاد الدولي للاتصالات. وهو مسؤول عن دراسة المسائل التقنية والمسائل المتعلقة بالتشغيل والتعريفة، وإصدار التوصيات بشأنها بغرض تقييس الاتصالات على الصعيد العالمي.

وتحدد الجمعية العالمية لتقييس الاتصالات (WTSA) التي تجتمع مرة كل أربع سنوات المواضيع التي يجب أن تدرسها لجان الدراسات التابعة لقطاع تقييس الاتصالات وأن تُصدر توصيات بشأنها.

وتتم الموافقة على هذه التوصيات وفقاً للإجراء الموضح في القرار رقم 1 الصادر عن الجمعية العالمية لتقييس الاتصالات.

وفي بعض مجالات تكنولوجيا المعلومات التي تقع ضمن اختصاص قطاع تقييس الاتصالات، تعد المعايير اللازمة على أساس التعاون مع المنظمة الدولية للتوحيد القياسي (ISO) واللجنة الكهرتقنية الدولية (IEC).

ملاحظة

تستخدم كلمة "الإدارة" في هذه التوصية لتدل بصورة موجزة سواء على إدارة اتصالات أو على وكالة تشغيل معترف بها.

والتقيد بهذه التوصية اختياري. غير أنها قد تضم بعض الأحكام الإلزامية (بهدف تأمين قابلية التشغيل البيني والتطبيق مثلاً). ويعتبر التقيّد بهذه التوصية حاصلاً عندما يتم التقيّد بجميع هذه الأحكام الإلزامية. ويستخدم فعل "يجب" وصيغ ملزمة أخرى مثل فعل "ينبغي" وصيغها النافية للتعبير عن متطلبات معينة، ولا يعني استعمال هذه الصيغ أن التقيّد بهذه التوصية إلزامي.

حقوق الملكية الفكرية

يسترعي الاتحاد الانتباه إلى أن تطبيق هذه التوصية أو تنفيذها قد يستلزم استعمال حق من حقوق الملكية الفكرية. ولا يتخذ الاتحاد أي موقف من القرائن المتعلقة بحقوق الملكية الفكرية أو صلاحيتها أو نطاق تطبيقها سواء طالب بها عضو من أعضاء الاتحاد أو طرف آخر لا تشمله عملية إعداد التوصيات.

وعند الموافقة على هذه التوصية، [كان/لم يكن] الاتحاد قد تلقى إخطاراً بملكية فكرية تحميها براءات الاختراع يمكن المطالبة بها لتنفيذ هذه التوصية. ومع ذلك، ونظراً إلى أن هذه المعلومات قد لا تكون هي الأحدث، يوصى المسؤولون عن تنفيذ هذه التوصية بالاطلاع على قاعدة المعطيات الخاصة ببراءات الاختراع في مكتب تقييس الاتصالات (TSB).

© ITU 2005

جميع الحقوق محفوظة. لا يجوز استنساخ أي جزء من هذه المنشورة بأي وسيلة إلا بإذن خطي من الاتحاد الدولي للاتصالات.

جدول المحتويات

الصفحة

1 نطاق التطبيق 1

2 المراجع 1
1.2 المراجع المعيارية 1
2.2 المراجع البحثية 1

3 مصطلحات وتعاريف 2
1.3 تشتت أسلوب الاستقطاب (PMD) 2
2.3 أنماط طرائق الاختبار 6

4 اختصارات 7

5 طرائق الاختبار 7
1.5 طرائق اختبار التشتت بأسلوب الاستقطاب 7
2.5 طرائق اختبار النعوت غير الخطية 37

التذييل I – تحديد مهلة التشتت PMD من مخطط التداخل 37
1.I حساب القيمة التربيعية المتوسطة RMS في إطار إجراء التحليل TINTY 37
2.I حساب القيمة التربيعية المتوسطة RMS في إطار إجراء التحليل GINTY 39

التذييل II – النعوت غير الخطية 40
1.II الخلفية 40
2.II المنطقة الفعالة (A_{eff}) 40
3.II عامل التصحيح k 41
4.II المعامل غير الخطي ($n2/A_{eff}$) 44
5.II انتثار بريليون المستحث (SBS) 44
6.II الآثار الأخرى 48

التذييل III – طرائق اختبار المنطقة الفعالة (A_{eff}) 48
1.III تقنية مسح المجال البعيد (FFS) 48
2.III تقنية الفتحة المتغيرة (VA) 51
3.III تقنية مسح المجال القريب (NFS) 54

التذييل IV – معلومات بشأن إحصاءات التشتت بأسلوب الاستقطاب 56
1.IV مقدمة 56
2.IV جمع المعطيات 57
3.IV حساب التشتت PMD_Q (مونت كارلو) 57
4.IV حساب المهلة DGD_{max} (مونت كارلو) 58

تعاريف وطرائق اختبار النعوت الإحصائية وغير الخطية للألياف والكبلات أحادية الأسلوب

1 نطاق التطبيق

تتضمن هذه التوصية تعاريف وطرائق الاختبار المناسبة المطبقة أساساً على القياسات في المصانع للنعوت الإحصائية وغير الخطية للألياف والكبلات البصرية أحادية الأسلوب الموصوفة في توصيات قطاع تقييس الاتصالات G.652 وG.653 وG.654 وG.655. وتعتبر هذه التعاريف وطرائق الاختبار عموماً غير ملائمة للألياف متعددة الأساليب، كما ورد وصفها في توصية قطاع تقييس الاتصالات ITU-T G.651. ويمكن أيضاً استعمال بعض طرائق الاختبار، عند الاقتضاء، لتمييز المكونات البصرية المستقلة على غرار تلك الموصوفة في توصية قطاع تقييس الاتصالات ITU-T G.671. وتتضمن التوصية ITU-T G.650.1 تعاريف وطرائق اختبار الخصائص الخطية الحتمية.

2 المراجع

1.2 المراجع المعيارية

تضم التوصيات التالية وسائر المراجع الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات (ITU-T) أحكاماً تشكل، من خلال الإشارة إليها في هذا النص، أحكاماً تتعلق بهذه التوصية. وكانت الطبعات المشار إليها في وقت نشرها سارية المفعول. وتخضع جميع التوصيات وغيرها من المراجع للمراجعة: ولذلك، يشجع مستعملو هذه التوصية على تقصي إمكانية تطبيق أحدث طبعة من التوصيات وسائر المراجع المدرجة أدناه. وتنشر بانتظام قائمة بتوصيات قطاع تقييس الاتصالات (ITU-T) السارية المفعول. ولا تمنح الإشارة إلى وثيقة معينة داخل هذه التوصية، بوصفها وثيقة مستقلة بحد ذاتها، صفة توصية لهذه الوثيقة.

2.2 المراجع البحثية

[1] توصية قطاع تقييس الاتصالات ITU-T G.652 (2005)، *خصائص الكبلات والألياف البصرية أحادية الأسلوب*.

[2] توصية قطاع تقييس الاتصالات ITU-T G.653 (2003)، *خصائص الكبلات والألياف البصرية أحادية الأسلوب وذات التشتت المتخالف*.

[3] توصية قطاع تقييس الاتصالات ITU-T G.654 (2004)، *خصائص الكبلات والألياف البصرية أحادية الأسلوب وذات القطع المزحزح*.

[4] توصية قطاع تقييس الاتصالات ITU-T G.655 (2003)، *خصائص الكبلات والألياف البصرية أحادية الأسلوب وذات التشتت المتخالف غير المعدوم*.

[5] توصية قطاع تقييس الاتصالات ITU-T G.650.1 (2004)، *تعاريف وطرائق اختبار النعوت الخطية المحددة للألياف والكبلات أحادية الأسلوب*.

[6] توصية قطاع تقييس الاتصالات ITU-T G.671 (2005)، *خصائص الإرسال في المكونات والأنظمة الفرعية البصرية*.

[7] توصية قطاع تقييس الاتصالات ITU-T G.663 (2000)، *جوانب تتعلق بتطبيقات الأنظمة الفرعية والمكبرات البصرية*.

3 مصطلحات وتعاريف

تعرِّف هذه التوصية المصطلحات التالية:

1.3 تشتت أسلوب الاستقطاب (PMD)

1.1.3 ظاهرة تشتت أسلوب الاستقطاب (PMD): تشتت أسلوب الاستقطاب هو مهلة انتشار المجموعة التفاضلية (DGD) بين أسلوبين مستقطبين عمودياً، مما يؤدي إلى انتشار النبضة في الأنظمة الرقمية والتشوه في الأنظمة التماثلية.

ملاحظة 1 – في حالة الألياف التناظرية الدائرية المثلى، ينتشر أسلوبي الاستقطاب بنفس السرعة. إلا أن الألياف الحقيقية لا يمكن أن تكون كاملة الاستدارة ويمكن أن تخضع لتوتر محلي؛ وبالتالي يقسم ضوء الانتشار إلى أسلوبي استقطاب محليين يرتحلان بسرعات مختلفة. وتختلف هذه الخصائص اللاتناظرية عشوائياً في الألياف وفي الوقت، مما يؤدي إلى سلوك إحصائي للتشتت (PMD). ويمكن استخلاص قيمة "قصوى" لمهلة انتشار المجموعة التفاضلية (DGD) من الإحصاءات.

ملاحظة 2 – توجد حالتان دائماً للاستقطاب المنتشر اعتباطياً في زمن معين وتردد بصري معين، يطلق عليهما الحالتان الرئيسيتان للاستقطاب (PSP)، (انظر الفقرة 2.1.3) بحيث يختفي انتشار النبض الناجم عن التشتت بأسلوب الاستقطاب PMD، عند تنشيط حالة واحدة فقط من PSP. وعلى نقيض ذلك، يحدث أقصى انتشار للنبض الناجم عن التشتت PMD في حالة تنشيط حالتي PSP، ويرتبط بالاختلاف في مهل الزمرة المصاحبة للحالتين PSP.

2.1.3 الحالتان الرئيسيتان للاستقطاب (PSP): عند استعمال ألياف بصرية بطول موجة أطول من طول موجة القطع في نظام شبه أحادي اللون، تكون الحالتان PSP عند الخرج حالتي الاستقطاب التعامديتين اللتين لا تؤثران على استقطاب الخرج عند حدوث تغير طفيف في التردد البصري. وتكون حالتا الاستقطاب للدخل التعامدي المقابلتان حالتي PSP للدخل.

ملاحظة 1 – تتغير الانكسارات المزدوجة المحلية في الألياف، وتتوقف الحالتان PSP على طول الليف (على نقيض ألياف الانكسار الشديد).

ملاحظة 2 – الحالتان PSP متجهان معقدان عشوائياً ترتبطان بالزمن والتردد البصري. إلا أنه يوجد مدى صغير للتردد وفقاً للتعريف، وهو عرض نطاق الحالتين PSP وتعتبران فيه ثابتتين عملياً.

ملاحظة 3 – إذا كان عرض نطاق الإشارة أكبر من عرض نطاق الحالتين PSP، تؤخذ إشارة التشتت PMD من الدرجة الثانية في الاعتبار. ويترتب على ذلك إزالة استقطاب مجال الخرج إلى جانب أثر تشتت لوني إضافي.

3.1.3 مهلة انتشار المجموعة التفاضلية ($[\delta\tau(\nu)]$ in ps): مهلة انتشار المجموعة التفاضلية (DGD) هي الاختلاف الزمني في مهلة زمرة الحالتين PSP.

تعتمد المهلة DGD بين حالتي PSP على طول الموجة ويمكن أن تختلف عشوائياً من حين إلى آخر بسبب اقتران الأسلوب العشوائي والقيود العشوائية على طول مسار الانتشار البصري بسبب الظروف البيئية، ضمن جملة أمور. وتكون التغيرات في ترتيب عامل من عاملين نمطية بالنسبة لألياف الإرسال العادية. ومع تزايد التشتت PMD، تتزايد الاختلافات في قيم المهلة DGD كما تتناقص دورية الخصائص. وبالنسبة للألياف العادية المقترنة بأسلوب عشوائي، يكون توزيع المهل صادق التمثيل افتراضاً، بما يعني أن التوزيع يظل كما هو من حيث الزمن وطول الموجة، لفترة طويلة بما يكفي أو لمهلة أطول. وهذا يسمح بافتراض أن القياسات على مدى طول موجة منتهية تعتبر ممثلة لمدى طول الموجات الأخرى أو لنفس مدى طول الموجات الأخرى في أوقات أخرى على مدى فترة زمنية أطول. ويكون توزيع الألياف مقترنة الأسلوب عادة هو توزيع ماكسويل.

وتحد قيم مهل DGD من مقدرة إرسال الأنظمة الرقمية. وتحد مشتقات مهل DGD فيما يخص طول الموجة من نسبة الإشارة إلى الضوضاء (SNR) في الأنظمة التماثلية. ولذلك يؤدي التوزيع الإحصائي لمهل DGD (وفقاً للزمن و/أو طول الموجة) دوراً هاماً في التنبؤ بالأداء الحقيقي للنظام.

والاقتران بأسلوب جدير بالإهمال يوجد في بعض الألياف الخاصة مثل ألياف المحافظة على الاستقطاب (PMF) وبعض المكونات. وبالنسبة لهذه التجهيزات، فالتغييرات في مهل DGD بموجة طويلة ضعيفة للغاية.

4.1.3 قيمة تشتت أسلوب الاستقطاب PMD: تعرف قيمة PMD باعتبارها قيمة خطية $<\Delta\tau>$ لقيم DGD $\Delta\tau(\nu)$ عبر مدى تردد بصري معين من ν_1 إلى ν_2:

$$PMD_{AVG} = \langle \Delta\tau \rangle = \frac{\int_{\nu_1}^{\nu_2} \Delta\tau(\nu) d\nu}{\nu_2 - \nu_1} \quad (1\text{-}3)$$

يعرَّف PMD_{RMS} باعتباره متوسط الجذر التربيعي (RMS) $<\Delta\tau^2>^{1/2}$ لقيم مهلة انتشار الزمرة التفاضلية DGD البالغة $\Delta\tau(\nu)$ على مدى تردد بصري معين من ν_1 إلى ν_2، كما يلي:

$$PMD_{RMS} = \langle \Delta\tau^2 \rangle^{1/2} = \left(\frac{\int_{\nu_1}^{\nu_2} \Delta\tau(\nu)^2 d\nu}{\nu_2 - \nu_1} \right)^{1/2} \quad (2\text{-}3)$$

الملاحظة 1 – ولإثبات صحة المعادلتين 3-1 و3-2، ينبغي أن يكون المدى من ν_1 إلى ν_2 واسعاً بما يكفي، أي يقدر بزهاء 100 nm في مدى طول الموجة المطابقة.

وإذا كان توزيع قيم DGD عبر مدى تردد بصري معين، تقريبي بواسطة توزيع ماكسويل، مع قدر كاف من الثقة والدقة، يمكن ربط التشتت المتوسط PMD_{avg} رياضياً بالتشتت التربيعي المتوسط ، بالمعادلة التالية:

$$< \Delta\tau > = \left(\frac{8}{3\pi} \right)^{1/2} < \Delta\tau^2 >^{1/2} \quad (3\text{-}3)$$

بالنسبة للألياف والكبلات، تيسر طريقة الاختبار المرجعي (RTM) لتشتت PMD، المتوسط الخطي.

الملاحظة 2 – يعتبر حساب القيم المتوسطة للحرارة أو الوقت أو الاضطرابات الميكانيكية بشكل عام بديلاً مقبولاً لحساب القيم المتوسطة للتردد. وفي هذه الحالة، يتناول مؤثر القيمة المتوقعة، جميع هذه الظروف. وتساوي القيمة المتوقعة لمجموعة أطوال منتهية في وقت معين القيمة المتوقعة على الأجل الطويل لأي مدى للتردد. تعتبر المعادلتان 3-1 و3-2 قيمة متوسطة في هذا السياق.

الملاحظة 3 – تنطبق المعادلة 3-3 فقط عندما تكون مهل DGD بأسلوب ماكسويل، وعلى سبيل المثال، عندما تكون الألياف مقترنة بأسلوب عشوائي. ويمكن التحقق من الاستعمال المعمم للمعادلة 3-3 بإجراء تحليل إحصائي. وقد لا يكون التوزيع توزيع ماكسويل إذا كانت توجد مصادر منتظمة لانكسار مزدوج مرتفع (بالنسبة لبقية الألياف البصرية)، كما هو الحال في المنحنيات الشديدة و/أو في غيرها من الظواهر التي تخفض اقتران الأساليب، مثل نصف قطر منحنى متواصل منقص وتكون الألياف البصرية مشدودة. وفي هذه الحالات، يمكن تشبيه توزيع مهل DGD بجذر تربيعي لتوزيع تربيع كاي مع ثلاث درجات من الحرية. وفي هذه الحالات أيضاً، ستكون قيمة PMD_{RMS} عموماً أكبر نسبياً مقارنة بقيمة PMD_{AVG} المشار إليها في المعادلة 3-3. وطرائق ميدان الزمن، مثل الطريقة C والطريقة A، تحويل فورييه إلى جيب التمام، التي تقوم على PMD_{RMS} ، يمكن أن تستعمل المعادلة 3 للحصول على تشتت متوسط PMD_{AVG}. وإذا خفض اقتران الأساليب، يمكن أن تتجاوز القيمة الناتجة المستنتجة من تشتت PMD بواسطة هذه الطرائق، تلك المستنتجة من قياس ميادين التردد، التي تعطي التشتت المتوسط PMD_{AVG} ، كما هو الحال في الطريقة B.

5.1.3 معامل التشتت PMD: التشتت المقيس وفقاً لقياس الطول:

توجد صيغتان للتقييس، الأولى الاقتران بأسلوب عشوائي، تصاحب ألياف الإرسال العادية، والثانية اقتران بأسلوب جدير بالإهمال، يرتبط بألياف خاصة مثل ألياف المحافظة على الاستقطاب. وبالنسبة للاقتران بأسلوب عشوائي، يكون معامل التشتت PMD هو قيمة PMD (PMD_{AVG} أو PMD_{RMS}) مقسوماً على الجذر التربيعي للطول ($L^{1/2}$) ويعبر عنه عادة بوحدات $ps/km^{1/2}$.

وبالنسبة للاقتران بأسلوب جدير بالإهمال، يكون معامل التشتت PMD هو قيمة PMD (PMD_{AVG} أو PMD_{RMS}) مقسوماً على الجذر التربيعي للطول (L) ويعبر عنه عادة بوحدات ps/km أو fs/m.

6.1.3 تعاريف رياضية

يمكن وصف تشتت PMD من حيث متجهات ستوكس أو جونز. وتغير متجه جونز للخرج وفقاً للتردد البصري الزاوي، $\omega = 2\pi\nu = 2\pi c/\lambda$، هو مصدر العطب. ويقوم ما يلي على افتراض استقطاب جدير بالإهمال (PDL).

والعلاقة بين متجه ستوكس، $\hat{s}$، ومتجه جونز المرتبط به $\hat{j}$، هي:

$$\hat{s} = \begin{bmatrix} \cos 2\theta \\ \sin 2\theta \cos\mu \\ \sin 2\theta \sin\mu \end{bmatrix} \quad \Leftrightarrow \quad \hat{j} = \begin{bmatrix} \cos\theta \exp(-i\mu/2) \\ \sin\theta \exp(i\mu/2) \end{bmatrix} \tag{4-3}$$

حيث:

θ هي زاوية الاستقطاب الخطي لحالة SOP (نصف زاوية الدوران على خط استواء مجال بوانكاريه).

μ هي زاوية الارتفاع من خط استواء مجال بوانكاريه وكذلك الاختلاف في الطور بين عناصر متجه جونز.

ويمكن وصف العلاقة، بالنسبة لتردد معين، ω_0، بين متجه ستوكس للدخل، $\hat{s}_0$، ومتجه الخرج، باعتبارها دوران، R، مع زاوية دوران γ_{ROT}، ومتجه الدوران $\hat{y}$.

$$R = \hat{y}\hat{y}^T(1-\cos\gamma_{ROT}) + I\cos\gamma_{ROT} + [\hat{y}\times]\sin\gamma_{ROT} \qquad \text{حيث} \qquad \hat{s} = R\hat{s}_0 \tag{5-3}$$

$[\hat{y}\times]$ هو مؤثر ناتج المتجه وI مصفوفة الهوية.

وعلى هذا التردد، تكون العلاقة بين متجه جونز للخرج ومتجه الدخل، $\hat{j}_0$، بالمصفوفة T، على النحو التالي:

$$T = \begin{bmatrix} \cos\gamma_T - iy_1\sin\gamma_T & -\sin\gamma_T(y_3 + iy_2) \\ \sin\gamma_T(y_3 - iy_2) & \cos\gamma_T + iy_1\sin\gamma_T \end{bmatrix} \qquad \text{حيث} \qquad \hat{j} = T\hat{j}_0 \tag{6-3}$$

$\gamma_{ROT} = 2\gamma_T$ والقيم المتأثرة بدليل هي مكونات متجه الدوران.

يستعمل متجه تشتيت الاستقطاب (PDV)، $\hat{\Omega}$، لوصف اختلافات متجهات الخرج مع التردد. وتعرف في ترميز ستوكس على النحو التالي:

$$\left.\frac{d\hat{s}(\omega)}{d\omega}\right|_{\omega_0} = \left.\frac{dR(\omega)}{d\omega}\right|_{\omega_0} R^T(\omega_0)\hat{s}(\omega_0) = \hat{\Omega}\times\hat{s}(\omega_0) \tag{7-3أ}$$

وتعرف على النحو التالي في ترميز ستوكس، حيث القيم المتأثرة هي عناصر PDV:

$$\left.\frac{d\hat{j}(\omega)}{d\omega}\right|_{\omega_0} = \left.\frac{dT(\omega)}{d\omega}\right|_{\omega_0} T\times(\omega_0)\hat{j}(\omega_0) = -\frac{i}{2}\begin{bmatrix} \Omega_1 & \Omega_2 - i\Omega_3 \\ \Omega_2 + i\Omega_3 & -\Omega_1 \end{bmatrix}\hat{j}(\omega_0) \tag{7-3ب}$$

ويمكن استعمال المعادلة (7-3ب) كمنطلق لتوسيع تايلر في المقام الأول لتغيير متجه جونز للخرج بالقرب من ω_0.

ويمكن ربط المتجه PDV على النحو التالي بالحالة PSP، $\hat{p}$، وبزمن DGD، $\Delta\tau$، وكذلك بمتجه وزاوية الدوران على النحو التالي:

$$\hat{\Omega} = 2\frac{d\gamma_T}{d\omega}\hat{y} + \sin 2\gamma_T\frac{d\hat{y}}{d\omega} + 2\sin^2\gamma_T\left(\hat{y}\times\frac{d\hat{y}}{d\omega}\right) = \Delta\tau\hat{p} \tag{8-3}$$

ويمكن أن تُكتب المعادلة (3-7ب) على النحو التالي:

$$\frac{d\hat{j}(\omega)}{d\omega}\Big|_{\omega_0} = \frac{dT(\omega)}{d\omega}\Big|_{\omega_0} T\times(\omega_0)\hat{j}(\omega_0) = -\frac{i}{2}\Delta\tau V_p\begin{bmatrix}1 & 0\\ 0 & -1\end{bmatrix}V\times\hat{j}(\omega_0) \tag{9-3}$$

حيث:

V_p^* هو مرافق الناقل V_p

ومتجه تشتت الاستقطاب PSP هو $\hat{p} = \begin{bmatrix}\cos 2\theta_p\\ \sin 2\theta_p \cos\mu_p\\ \sin 2\theta_p \sin\mu_p\end{bmatrix}$

وبافتراض أن حالات PSP لا تتغير مع التردد (على فاصل تردد ضيق، ω_0 و$\omega_0+\Delta\omega$)، تمتلك المعادلة (3-7ب) حلاً بالقرب من ω_0:

$$\hat{j}(\varpi) = V_p\begin{bmatrix}\exp[-i\varpi\Delta\tau/2] & 0\\ 0 & \exp[i\varpi\Delta\tau/2]\end{bmatrix}V_p\times\hat{j}(\omega_0) = J(\varpi)\hat{j}(\omega_0) \tag{10-3}$$

حيث ϖ هو الانحراف عن ω_0.

وفي ترميز ستوكس، تطابق المعادلة 3-10 دوران زاوية $\varpi\Delta\tau$ حول PSP في مجال بوانكاريه.

والمعادلة 3-10 ترد في شكل تجزئة قيمة منفردة. والعناصر القطرية للمصفوفة المركزية هي قيم ذاتية. وأعمدة المصفوفة V_p هي متجهات ذاتية، تتخذ شكل متجهات جونز. ويتحول العمود الأول إلى PSP بنفس الشكل الوارد في المعادلة 3-4. ولنطلق عليه $\hat{j}_p$. ويمكن وضع هذه المصفوفة في الشكل الوارد في المعادلة 3-6، بحيث تحل $\varpi\Delta\tau/2$ محل γ_T وتحل عناصر PSP محل عناصر متجه الدوران.

ويمكن إجراء تغيير في الإحداثيات في المعادلة 3-10 بحيث تصبح مصفوفة PSP في نظام الإحداثي الجديد، مصفوفة الهوية. والعنصران x وy للناتج يمكن أن يلتفا مع ميدان مجال التردد لمصدر أحادي اللون، الذي يمكن التعبير عنه، في المجال الزمني، بدالة القدرة. وعلى سبيل المثال، يمكن ذكر نبضة زمنية غوسية لعرض RMS يساوي σ (ps)، وليف بتشتت لوني D (ps/nm). ودالة قدرة الخرج الناتجة هي نبضة متقاسمة P(t):

$$P(t) = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}}\left\{\exp\left[-\frac{(t-(\tau_G-\Delta\tau/2))^2}{2S^2}\right]u + \exp\left[-\frac{(t-(\tau_G+\Delta\tau/2))^2}{2S^2}\right](1-u)\right\} \tag{11-3}$$

حيث τ_G هو تأخر الزمرة من أجل u = 0,5

$$\tau' = -D\frac{\lambda_0}{\omega_0} \quad \text{و} \quad S^2 = \sigma^2 + \left(\frac{\tau'}{2\sigma}\right)^2$$

$u = \left(\hat{j}_p \times T(\omega_0)\hat{j}_0\right)\times\left(\hat{j}_p \times T(\omega_0)\hat{j}_0\right)$ في الإحداثيات الأصلية.

والاختلاف بين مراكز النبضة من أجل u = 0 وu = 1 هو $\Delta\tau$. ويقابل هذا الاختلاف زمن مهل DGD. ويمكن الحصول على قيم u هذه في حالة تراصف متجه خرج جونز مع $\hat{j}_p$ أو مع نظيره المتعامد، المتجه الذاتي الآخر.

والعرض التربيعي المتوسط RMS لهذه النبضة يحصل عليه بالمعادلة التالية:

$$RMS_P = \left[S^2 + \Delta\tau^2 u(1-u)\right]^{1/2} \quad (12\text{-}3)$$

وفي حالة القياسات التي يستعمل فيها تحليل المتجهات RTM وتحليل القيم الخاصة بمصفوفة جونز JME، تحسب تقديرات المصفوفة T من أجل ω_0 و$\omega_0 + \Delta\omega$، ويكون التردد أكبر بقليل. والقيمة المقربة لمصفوفة نقل الترددات هي على النحو التالي:

$$J(\Delta\omega) = T(\omega_0 + \Delta\omega)T^{-1}(\omega_0) \quad (13\text{-}3)$$

ويتضح من المعادلة (3-10) أن حجة العلاقة بين القيم الذاتية، مقسومة على $\Delta\omega$، هي زمن المهلة DGD.

وارتبط تعبير "الرتبة الأولى" في البداية بتوسيع تايلر من الرتبة الأولى بالمعادلة (3-7ب). ويمكن أن يرتبط أيضاً بواقع أنه ييسر تنظيم متواصل خطي الطور لمتجه جونز في تردد واحد نحو التردد التالي الأعلى.

ويمكن اعتبار التشتت PMD في الرتبة الثانية كوصف $J(\varpi)$ الذي يوفر تقابل متواصل للترددات العليا والدنيا على السواء. ويمكن أن يتم ذلك عن طريق الاستعاضة عن $\varpi\Delta\tau/2$ بتعبير أعم، $\gamma(\varpi)$، الموصوف باعتباره توسع تايلر:

$$\gamma(\varpi) = \varpi\gamma_\varpi + \varpi^2\gamma'_\varpi / 2 \quad (14\text{-}3أ)$$

وبالمثل، يمكن كتابة المعلمات الزاوية للحالتين PSP على النحو التالي:

$$\mu_p(\varpi) = \mu_{p0} + \varpi\mu_{p\varpi} \quad \text{و} \quad \theta_p(\varpi) = \theta_{p0} + \varpi\theta_{p\varpi} \quad (14\text{-}3ب)$$

ويمكن أن يؤدي استعمال صيغة مثل المعادلة (3-13) للتردد العكسي، والتجزئة إلى قيم منفردة في المعادلة (3-10)، إلى بعض التقديرات الجبرية/المثلثية لمعلمات المعادلتين (3-14أ) و (3-14ب) المستمدة من المعطيات المقاسة.

ويعرف المتجه PDV من الرتبة الثانية، $\vec{\Omega}_\omega$، باعتباره مشتق تردد PDV:

$$\vec{\Omega}_\omega = \frac{d\vec{\Omega}}{d\omega} = \frac{d\Delta\tau}{d\omega}\hat{p} + \Delta\tau\frac{d\hat{p}}{d\omega} \quad (15\text{-}3)$$

وفي حالة وجود اقتران بأسلوب عشوائي، يكون اتساع هذا المتجه وقيمته المتوقعة مرتبطاً بقيمة PMD على النحو التالي:

$$\left\langle \vec{\Omega}_\omega \cdot \vec{\Omega}_\omega \right\rangle = \left\langle \left(\frac{d\Delta\tau}{d\omega}\right)^2 \right\rangle + \left\langle \Delta\tau^2 \frac{d\hat{p}}{d\omega} \cdot \frac{d\hat{p}}{d\omega} \right\rangle = \frac{1}{3}\left\langle \Delta\tau^2 \right\rangle^2 \quad (16\text{-}3)$$

والنسبة بين المصطلح الأول، الذي يتضمن مشتق DGD، إلى المصطلح الثاني، الذي يتضمن مشتق PSP هي 1 إلى 8. والمصطلح الأول تفاعلي مع تشتت لوني والمصطلح الثاني له أثر إزالة الاستقطاب.

والتفاف التمثيل الموسع لمصفوفة نقل التردد مع نبضة الدخل يتجاوز نطاق هذا البند. ولكن من الواضح أنه لن يكون من السهل التمثيل وسيتوقف ذلك على تفاصيل المعلمات عند ترددات المصدر. ولكن إذا تركز الاهتمام على القيم المتوقعة، توضح المعادلة (3-16) أنه يمكن حساب القيم من قيمة PMD_{RMS} وأن القياسات الصريحة ليست ضرورية.

2.3 أنماط طرائق الاختبار

1.2.3 طريقة الاختبار المرجعية (RTM): هي طريقة اختبار تقاس بها خاصية صنف محدد من الألياف البصرية أو كبلات الألياف البصرية بدقة وفقاً لتعريف هذه الخاصية، ويسفر عنها نتائج دقيقة وقابلة للاستعادة ويمكن استعمالها في الممارسة.

2.2.3 طريقة الاختبار البديلة (ATM): طريقة اختبار تقاس بها خاصية صنف معين من الألياف البصرية أو كبلات الألياف البصرية بطريقة تتمشى مع تعريف هذه الخاصية ويسفر عنها نتائج قابلة للاستعادة ويمكن مقارنتها بتلك المستمدة من الطريقة المرجعية واستعمالها في الممارسة.

4 اختصارات

تستعمل هذه التوصية الاختصارات التالية:

ATM طريقة الاختبار البديلة *(Alternative Test Method)*

DGD مهلة انتشار المجموعة التفاضلية *(Differential Group Delay)*

DWDM جهاز تعدد إرسال بتقاسم مكثف لطول الموجات *(Dense Wavelength Division Multiplexing)*

ECL ليزر ذو تجويف خارجي *(External Cavity Laser)*

FWHM عرض كامل على نصف الارتفاع *(Full Width at Half Maximum)*

LD ثنائي المسار بالليزر *(Laser Diode)*

LED ثنائي المسار بانبعاث ضوئي *(Light Emitting Diode)*

MFD قطر مجال الأسلوب *(Mode Field Diameter)*

NFP نمط المجال القريب *(Near-Field Pattern)*

OTDR عاكس بصري للمجال الزمني *(Optical Time Domain Reflectometer)*

PMD تشتت أسلوب الاستقطاب *(Polarization Mode Dispersion)*

PS مجال بوانكاريه *(Poincaré Sphere)*

PSP الحالتان الرئيسيتان للاستقطاب *(Principal State of Polarization)*

RTM طريقة الاختبار المرجعية *(Reference Test Method)*

SOP حالة الاستقطاب *(State of Polarization)*

TBD على أن تحدد فيما بعد *(To Be Determined)*

WDM تعدد إرسال بتقاسم طول الموجة *(Wavelength Division Multiplexing)*

5 طرائق الاختبار

ترد طرائق الاختبار المرجعية (RTM) وطرائق الاختبار البديلة (ATM) هنا عادة بالنسبة لكل معلمة وكان الغرض هو أن تتلاءم الطريقتين RTM وATM لأغراض قبول النتائج العادية. إلا أنه يوصى باستعمال الطريقة RTM كتقنية لتوفير نتائج القياس النهائية في حالة ظهور أي تضارب في طريقة استعمال ATM.

ملاحظة – لا يغطي الجهاز والإجراء المذكوران إلا الخصائص الرئيسية لطرائق الاختبار. ويفترض أن القياس التفصيلي سيشمل جميع التدابير اللازمة لضمان الاستقرار وإزالة الضوضاء ونسبة الإشارة إلى الضوضاء، إلخ.

1.5 طرائق اختبار التشتت بأسلوب الاستقطاب

تعطي جميع طرائق الاختبار قيمة التشتت PMD. ويكون تحويل معامل تشتت PMD متفقاً مع التعريف الوارد في الفقرة 5.1.3.

1.1.5 طريقة الاختبار المرجعية: تقنية تقييم معلمة ستوكس

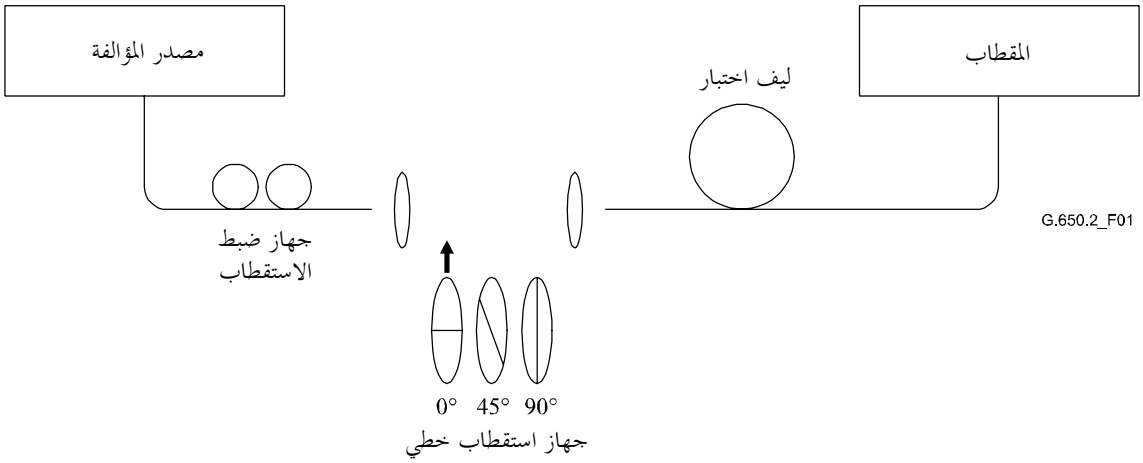
1.1.1.5 اعتبارات عامة

تصف طريقة الاختبار هذه إجراء لقياس تشتت أسلوب الاستقطاب PMD للألياف البصرية أحادية الأسلوب. وتحدد هذه الطريقة الاختلاف في حالة استقطاب الخرج (SOP) مع طول الموجة. ويمكن تمييز هذا الاختلاف بتحليل المتجهات والقيم الخاصة بمصفوفة جونز للتحليل الذاتي (JME)، أو دوران متجه SOP على مجال بوانكاريه (PS). ويمكن تطبيقها على الألياف القصيرة والطويلة على السواء، بغض النظر عن درجة اقتران أسلوب الاستقطاب. وفي بعض الحالات، قد يكون من الضروري تكرار القياس لتحقيق دقة مرضية. وتقتصر هذه الطريقة على الموجات الأطول من أو المساوية في الطول لليف أحادي الأسلوب بالفعل.

وعند قياس الألياف المتحركة (أي الألياف في كبل الحفظ بليف بصري OPGW)، قد تكون طريقة قياس التداخل اختياراً أفضل لوظيفة تسوية النـــزاع لطريقة الاختبار المرجعية RTM.

2.1.1.5 جهاز الاختبار

انظر الشكل 1 للاطلاع على مخطط بياني للمكونات الرئيسية لنظام قياس نمطي.



الشكل G.650.2/1 – مخطط بياني للتجهيز (نمطي)

1.2.1.1.5 مصدر الضوء

يستعمل ليزر بخط واحد أو مصدر ضوء ضيق النطاق متوالف على طول مدى أطوال الموجة المزمع قياسها. وسيكون التوزيع الطيفي ضيقاً بما يكفي بحيث يظل الضوء الناشئ عن الليف المختبر مستقطباً في ظل جميع ظروف القياس. وتفضل درجة استقطاب (DOP) قدرها 90% أو أكثر، وإن كان يمكن إجراء قياسات بقيم تبلغ 25% بالكاد وذلك بدقة منخفضة. ولقيمة محددة لمهلة انتشار المجموعة التفاضلية ، يمكن الحصول على أدنى درجة استقطاب يُحتمل ظهورها من المعادلة التالية:

$$DOP = 100\,\mathrm{e}^{-\frac{1}{4\ln 2}\left(\frac{\pi c \Delta\tau \Delta\lambda_{FWHM}}{\lambda_0^2}\right)^2} \qquad (1\text{-}5)$$

على افتراض أن الطيف الغوسي عرضه $\Delta\lambda_{FWHM}$ يرتكز حول λ_0 ويعبر عن DOP كنسبة مئوية.

2.2.1.1.5 جهاز ضبط الاستقطاب

يعقب جهاز ضبط الاستقطاب الليزر ويضبط لتيسير ضوء باستقطاب دائري تقريباً لتجهيزات الاستقطاب، بحيث لا يتقاطع الاستقطاب إطلاقاً في تجهيزات الاستقطاب مع ضوء الدخل. ويتم ضبط الاستقطاب على النحو التالي: يضبط طول موجة الليزر المؤلفة على مركز المدى الذي يتعين قياسه. ويدخل كل جهاز من تجهيزات الاستقطاب الثلاثة في الحزمة وتجرى ثلاثة قياسات

للقدرة المقابلة عند خرج تجهيزات الاستقطاب. يضبط استقطاب المصدر بواسطة جهاز الضبط بحيث تبقى القدرات الثلاثة عند 3 dB من بعضها بعضاً. وفي صيغة تركيب حزمة مفتوحة، يمكن أن يجرى ضبط الاستقطاب بواسطة صفيحة مستقطبة.

3.2.1.1.5 أجهزة الاستقطاب

ترتب ثلاثة أجهزة استقطاب على زوايا نسبية تقدر بنحو 45 درجة تقريباً بحيث تدخل في حزمة الضوء تباعاً. وتكون الزوايا النسبية معروفة.

4.2.1.1.5 بصريات الدخل

يمكن استعمال نظام عدسة بصرية أو ضفيرة ليف أحادي الأسلوب لتنشيط الليف الخاضع للاختبار.

5.2.1.1.5 ضفائر الليف

إذا استعملت ضفائر ليف، يجدر تفادي أثر التداخل الناجم عن الانعكاسات. وقد يتطلب ذلك استعمال معدات لتطابق الدليل أو اقتران مائل. تكون الضفائر أحادية الأسلوب.

6.2.1.1.5 نظام العدسات البصرية

إذا استعمل نظام العدسات البصرية، تُستعمل بعض الوسائل المناسبة مثل طارد المفرغ لدعم استقرار مطراف دخل الليف.

7.2.1.1.5 كابت أسلوب الغمد

يجدر كبت قدرة أسلوب الغمد من الليف الخاضع للاختبار. وفي معظم الأحوال، تؤمن هذه الوظيفة بواسطة كساء الليف؛ وفيما عدا ذلك، يستعمل جهاز لاستخلاص القدرة بأسلوب الغمد.

8.2.1.1.5 بصريات الخرج

تقترن جميع القدرات الصادرة عن ليف الاختبار إلى المقطاب. واستعمال نظام بصري عدسي، وجدالة غليظة مقترنة بضفيرة ألياف أحادية الأسلوب أو اقتران مباشر مكيف مع الدليل بنظام المكشاف، هي أمثلة على الأساليب التي يمكن استعمالها.

9.2.1.1.5 المقطاب

يستعمل المقطاب لقياس الحالات الثلاث لخرج الاستقطاب المقابلة لإدخال كل استقطاب من الاستقطابات الثلاثة. وسيشمل مدى طول موجة المقطاب طول الموجات التي ينتجها مصدر الضوء.

3.1.1.5 إجراء القياس

تكون العينة المختبرة في شكل ليف بصري أحادي الأسلوب بطول معروف، قد تكون في شكل ليف مكبل أو غير مكبل. تثبت العينة أو الضفيرة في وضع وتحت درجة حرارة اسمية منتظمة طوال فترة القياس. ويمكن مراقبة استقرار درجة حرارة جهاز الاختبار وذلك برؤية حالة خرج استقطاب الليف المختبر على كاشف مجال بوانكاريه. وخلال فاصل زمني مقابل لزوج من القياسات المتتالية باستعمال مصفوفة جونز، ينبغي أن تكون التغييرات في خرج الاستقطاب صغيرة مقارنة بالتغييرات الناتجة عن زيادة طول الموجة.

ملاحظة – العينة هي عبارة عن ليف عادة، ولكن يمكن إجراء الاختبار على مكونات متقطعة. وفي هذه الحالة لا يؤخذ معامل PMD في الاعتبار.

ومن المهم، حينما تقاس الألياف غير المكبلة، تقليل الاقتران بأسلوب النشر المستحث إلى أدنى حد ممكن، وذلك لاستيفاء المتطلبات الأساسية لتشتت PMD_Q للألياف المكبلة. وفي هذه الحالة، يثبت الليف بطريقة ما (عادة على بكرة يبلغ نصف قطر لفها 150 mm كحد أدنى)، مع قدرة شد ليف صفرية أساساً (أقل من 5 g بشكل عام). وبدون شد عرضي. ويمكن أن تحد متطلبات النشر من الطول الممكن قياسه، ويعتمد ذلك على قطر الوشيعة، ويمكن أن يجعل القياس إجراء مدمراً. واللف متعدد الطبقات ممكن، ولكن بعد مقارنته بنتائج الطبقة الوحيدة، أو الأطوال الأقصر.

ولا يوصى بقياس الألياف غير المكبلة المنشورة على وشائع النقل. وبينت نتائج تشتت PMD مع هذا النشر أنها أقل بكثير من النتائج التي كان يمكن الحصول عليها بكبل ألياف شديدة التشتت PMD وأكبر بكثير مما كان يمكن الحصول عليها من كبل بألياف ضعيفة التشتت PMD.

يقرن مصدر الضوء بتجهيزات الاستقطاب بواسطة جهاز ضبط الاستقطاب.

يقرن خرج تجهيزات الاستقطاب بخرج الليف الخاضع للاختبار.

يقرن خرج الألياف الخاضعة للاختبار بدخل المقطاب.

يختار فاصل طول الموجة $\Delta\lambda$ الذي سيجرى عليه القياس. تحدد أقصى قيمة مسموحة لطول الموجة $\Delta\lambda$ (نحو λ_0) وفقاً للمعادلة التالية:

$$\Delta\tau_{max}\Delta\lambda \le \frac{\lambda_0^2}{2c} \qquad (2\text{-}5)$$

حيث $\Delta\tau_{max}$ هي أقصى مهلة DGD متوقعة في مدى طول الموجة المقاسة. وعلى سبيل المثال، تبقى أقصى مهلة DGD وفاصل الموجة أقل من 4 ps.nm عند 1550 nm وأقل من 2,8 ps.nm عند 1300 nm. ويكفل هذا الاشتراط، أن تكون حالة خرج الاستقطاب أقل من 180 درجة على المحور الرئيسي لمجال بوانكاريه، عند اختبار طول إلى آخر. وإذا تعذر إجراء تقدير تقريبـــي للمهلة القصوى $\Delta\tau_{max}$، تجرى سلسلة من قياسات العينة عبر مدى طول الموجة، بحيث يستعمل في كل قياس زوج من أطوال موجة بتباعد ضيق يتناسب مع العرض الطيفي وأدنى خطوة توليف للمصدر البصري. وتضرب أقصى مهلة DGD مقاسة بهذا الأسلوب في عامل أمان قدره ثلاثة، وتستبدل قيمة $\Delta\tau_{max}$ في التعبير الوارد أعلاه، وتحسب قيمة $\Delta\lambda$ التي يتعين استعمالها في القياس المعني. وإذا ظهرت بوادر قلق من أن يكون فاصل طول الموجة المستعملة في قياس ما أكبر مما يجب، يمكن تكرار القياس بمهلة أقصر لطول الموجة. وإذا لم يتغير شكل منحنى مهلة DGD وفقاً لطول الموجة ومتوسط DGD أساساً، يعتبر فاصل طول الموجة الأصلية مرضياً.

تجمع جميع معطيات القياس. وبالنسبة لطول موجة مختارة، يدخل كل تجهيز استقطاب وتسجل معلمات ستوكس المقابلة من المقطاب.

4.1.1.5 الحسابات وتفسير النتائج

يمكن بطريقتين (JME وPSA) تحليل معلمات جونز التي تم قياسها وفقاً للفقرة 3.1.1.5. وتسمح طريقتا التحليل بدوران متجهات خرج ستوكس من تردد بصري إلى التردد البصري التالي. وتتناسب مهلة DGD مع زاوية الدوران وتتناسب عكسياً مع اختلاف التردد. والطريقتان متكافئتان رياضياً لتشتت PMD من المرتبة الأولى في حالة ضعف PDL الجدير بالإهمال.

ومعلمات ستوكس لطول موجة معينة هي متجهات خرج ستوكس المعايرة، والممثلة على النحو التالي $\hat{H}$ و $\hat{Q}$ و $\hat{V}$ والمميزة بزوايا نسبية للدخل الخطي لحالة الاستقطاب SOP قدرها 0° و45° و90° على التوالي.

وفي الفقرة 3.1.5 استعمل طول الموجة لوصف القياس. والتردد البصري الزاوي ($\omega = 2\pi c/\lambda$ (ps^{-1}) هو أفضل مقاس للحساب. وترد فيما يلي حسابات لزوج وحيد من الترددات المتجاورة ω_0 و$\omega_0+\Delta\omega$. ويمكن من هذا الزوج الحصول على قيمة DGD. وتحسب قيم DGD لكل زوج من الترددات الصاعدة على مدى تردد ما باستعمال نفس الحسابات.

ويشار إلى متوسط جميع قيم DGD بقيمة PMD.

1.4.1.1.5 تحليل ذاتي لمصفوفة جونز

بالنسبة لتردد معين، تستعمل المعادلة (4-3) لتحويل متجهات وحدات قياس ستوكس للخرج إلى متجهات جونز بافتراض أن $0 \le \theta \le \pi$. والعنصران المعقدان x وy لهذه المتجهات يشار إليهما على النحو التالي: h_x وh_y وq_x وq_y وv_x وv_y . وباستعمالها تحسب النسبة التالية:

$$k_1 = h_x / h_y \; k_2 = v_x / v_y \; k_3 = q_x / q_y \qquad k_4 = \frac{k_3 - k_2}{k_1 - k_3} \qquad (3\text{-}5)$$

وافتراض أن $0 \le \theta \le \pi$ لا ينطبق في حساب النسبة.

وبالنسبة للتردد، تحسب مصفوفة تحويل جونز على النحو التالي:

$$T = \begin{bmatrix} k_1 k_4 & k_2 \\ k_4 & 1 \end{bmatrix} \quad (4\text{-}5)$$

ومصفوفة التحويل الحقيقية هي مصفوفة المعادلة (4-5) مضروبة في ثابت معقد غير معروف، يتناسب عكسياً مع الجذر التربيعي لمحدد المصفوفة المحسوبة. وهذا الثابت غير ضروري لبقية الحسابات.

وبالنسبة لزوج من الترددات، تحسب مصفوفة تحويل ترددات جونز على النحو التالي:

$$J(\omega_0) = T(\omega_0 + \Delta\omega)T^{-1}(\omega_0) \quad (5\text{-}5)$$

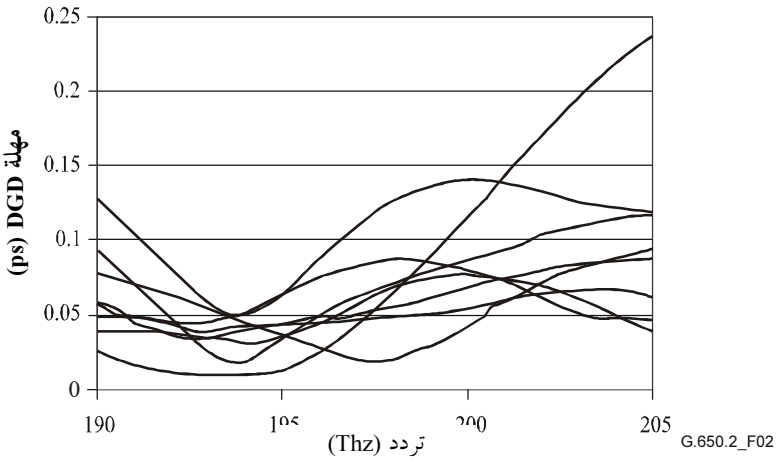
تُحسب القيمتان الذاتيتان، $\rho_1(\omega_0)$ و$\rho_2(\omega_0)$ للقيمة $J(\omega_0)$. وتحدد المهلة DGD، $\Delta\tau(\omega_0)$ بالمعادلة التالية:

$$\Delta\tau(\omega_0) = \frac{\left|\arg(\rho_1(\omega_0)/\rho_2(\omega_0))\right|}{\Delta\omega} \quad (6\text{-}5)$$

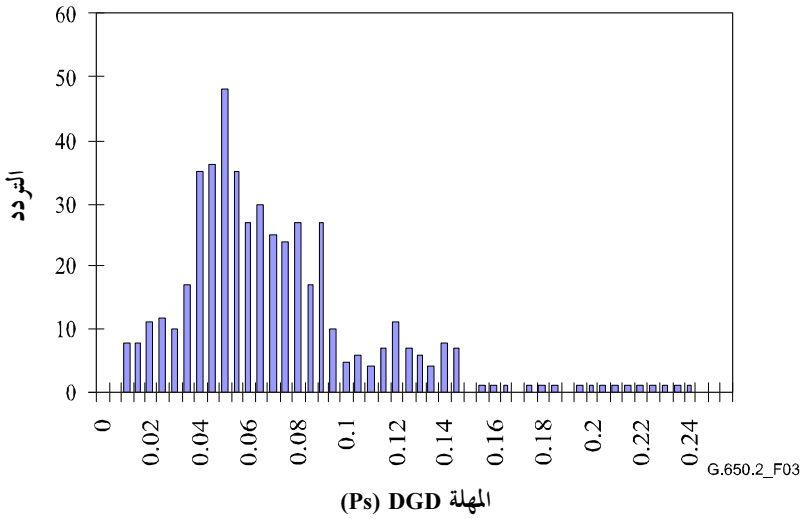
حيث

$\arg\left(me^{i\theta}\right) = \theta$ وm وθ حقيقي و$|\theta| < \pi$.

ويمكن عرض المعطيات كدالة لطول الموجة كما هو مبين في الشكل 2 أو كمخططي درجي في الشكل 3.



الشكل G.650.2/2 – معطيات مهلة انتشار المجموعة التفاضلية DGD كدالة للتردد



الشكل G.650.2/3 – معطيات DGD كدالة مخطط درجي

2.4.1.1.5 تحليل مجال بوانكاريه (PSA)

يستند هذا التحليل إلى دالة قوس الجيب لتحديد دوران متجهات ستوكس المعايرة على مجال بوانكاريه.

وتحسب انطلاقاً من متجهات ستوكس المعايرة المقاسة، $\hat{H}$ و $\hat{V}$ و $\hat{Q}$، المتجهات التالية:

$$\hat{h}=\hat{H}\,,\ \hat{q}=\frac{\hat{H}\times\hat{Q}}{\left|\hat{H}\times\hat{Q}\right|}\times\hat{H}\,,\qquad \hat{v}=\frac{\hat{q}\times\hat{V}}{\left|\hat{q}\times\hat{V}\right|}\times\hat{q} \tag{7-5}$$

وبهذه الطريقة يكون التحليل مستقلاً عن حالات دخل SOP وبالتالي ليس ثمة ضرورة لمعرفتها.

ومن متجهات ستوكس $\hat{h}$ و $\hat{v}$ و $\hat{q}$ تشكل منتجات المتجه $\hat{c}=\hat{h}\times\hat{q}$ والمتجه $\hat{c}'=\hat{q}\times\hat{v}$ عند كل طول موجة. ولكل زيادة في التردد، تحسب الاختلافات المنتهية،

$$\Delta\hat{h}=\hat{h}(\omega_0+\Delta\omega)-\hat{h}(\omega_0)\qquad \Delta\hat{q}=\hat{q}(\omega_0+\Delta\omega)-\hat{q}(\omega_0)\qquad \Delta\hat{v}=\hat{v}(\omega_0+\Delta\omega)-\hat{v}(\omega_0)$$

$$\Delta\hat{c}=\hat{c}(\omega_0+\Delta\omega)-\hat{c}(\omega_0)\qquad \Delta\hat{c}'=\hat{c}'(\omega_0+\Delta\omega)-\hat{c}'(\omega_0) \tag{8-5}$$ (5-8)

تحدد مهلة DGD، $\Delta\tau$، لزيادة في تردد معين، عن طريق المعادلة التالية:

$$\Delta\tau=\frac{1}{\Delta\omega}\cdot\left[\arcsin\left(\frac{1}{2}\sqrt{\frac{1}{2}\left(\Delta\hat{h}^2+\Delta\hat{q}^2+\Delta\hat{c}^2\right)}\right)+\arcsin\left(\frac{1}{2}\sqrt{\frac{1}{2}\left(\Delta\hat{q}^2+\Delta\hat{v}^2+\Delta\hat{c}'^2\right)}\right)\right] \tag{9-5}$$

ملاحظة – $\Delta\hat{h}^2=\Delta\hat{h}\cdot\Delta\hat{h}$

5.1.1.5 تقديم النتائج

أ) تعرف هوية العينة المقاسة.

ب) طول العينة.

ج) مدى طول الموجة الذي أجري عليها القياس، وقد خطوة طول الموجة وعدد النقاط المعاينة.

د) التشكيلة المادية لعينة الليف أو الكبل.

هـ) نمط أسلوب الاقتران (جدير بالإهمال، شبه عشوائي أو عشوائي).

و) طريقة التحليل (JME أو PS)

ز) تعطى قيمة PMD بوحدة PS. إذا كانت درجة اقتران الأسلوب معروفة، يعطى معامل التشتت PMD بوحدة (ps/km) (اقتران بأسلوب جدير بالإهمال) أو $ps/km^{1/2}$ (اقتران بأسلوب عشوائي).

ح) عندما يحدد متوسط التشتت PMD من قياسات متكررة للعينة، يسجل عدد القياسات المنجزة.

2.1.5 البديل الأول لطريقة الاختبار: طريقة حالة الاستقطاب (SOP)

1.2.1.5 اعتبارات عامة

تقيس هذه الطريقة مسار متجه ستوكس للخرج وفقاً للتردد، انطلاقاً من دخل SOP وحيد. ويقدم هذا التحليل تقديراً لزاوية الدوران من تردد إلى آخر. ومن جوانب ضعف هذه الطريقة أنه إذا تراصف متجه ستوكس للخرج مع حالة PSP، تكون المهلة DGD المقدرة أقل بكثير من قيمتها الحقيقية.

وتستند هذه الطريقة إلى واقع أنه إذا تغير التردد البصري للضوء المحقون، تدور حالة الاستقطاب عند خرج الليف، الممثلة على مجال بوانكاريه في حيز معلمات ستوكس، حول المحور المتزامن مع اتجاه الحالات PSP بمعدل يتوقف على مهلة PMD: كلما زادت المهلة، كلما تسارع الدوران. ولذلك، وعندما تقاس زاوية الدوران $\Delta\theta$ للنقطة الممثلة لمجال بوانكاريه المقابلة لتغير التردد الزاوي $\Delta\omega$، يمكن الحصول على مهلة PMD، $\Delta\tau$، على النحو التالي:

$$\Delta\tau = \left|\frac{\Delta\theta}{\Delta\omega}\right| \qquad (10\text{-}5)$$

ويجدر ملاحظة أنه إذا أثيرت حالة واحدة من حالتي دخل PSP، تبقى حالة الاستقطاب المقابلة لخرج الليف دون تغيير في حد ذاتها ولا يكشف عن أي دوران حول مجال بوانكاريه.

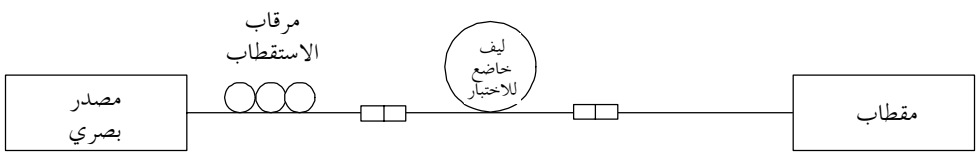
تسمح هذه التقنية بالحصول مباشرة على DGD بين الحالات الرئيسية لاستقطاب الألياف المختبرة وفقاً لطول الموجة أو الزمن. ويمكن الحصول على PMD بقياسات متوسطة بالنسبة للزمن أو الطول أو الزمن والطول معاً. وهذه الطريقة قادرة على توفير معلومات كاملة عن إحصاءات DGD.

2.2.1.5 جهاز الاختبار

يوضح المخطط البياني الوارد في الشكل 4 جهاز الاختبار. وتشمل هذه التقنية قياس حالة استقطاب ليف خاضع للاختبار لعدد معين من أطوال موجة عبر مدى طيفي معين وذلك بحقن الضوء في الليف الخاضع للاختبار على أن يكون الاستقطاب حالة محددة.

1.2.2.1.5 مصدر بصري

يقتضي الأمر ليزر وحيد الخط مستقر يقبل التوليف عبر مدى القياس المرغوب لطول الموجة. ويجب أن يكون العرض الطيفي لليزر ضيقاً بما يكفي لضمان تجنب إزالة استقطاب الإشارة، الذي قد ينجم عن تشتت PMD في الليف.



G.650.2_F04

الشكل G.650.2/4 – مخطط لقياس تشتت PMD لتحليل حالة استقطاب

2.2.2.1.5 مرقاب الاستقطاب

يوضع مرقاب الاستقطاب بين مصدر بصري وليف خاضع للاختبار.

3.2.2.1.5 المقطاب

يستعمل مقطاب لقياس معلمات ستوكس كدالة لطول الموجة عند خرج الليف الخاضع للاختبار.

4.2.2.1.5 العينات

تكون عينة الاختبار معروفة الطول لليف أحادي الأسلوب مكبل أو غير مكبل. ويجب تثبيت العينة والضفيرة في موقع بدرجة حرارة ثابتة اسمياً خلال القياس. وتجري هذه العملية في ظروف بيئية عادية. وبالنسبة للألياف والكبلات المركبة، يجري القياس في ظروف النشر الحقيقية.

ومن المهم، حينما تقاس الألياف غير المكبلة، تقليل الاقتران بأسلوب النشر المستحث إلى أدنى حد ممكن وذلك لاستيفاء المتطلبات الأساسية لتشتت PDM_Q للألياف المكبلة. وفي هذه الحالة، يثبت الليف بطريقة ما (عادة على بكرة يبلغ نصف قطر لفها 150 nm كحد أدنى)، مع توتر ليف صفري أساساً (أقل من 5 g بشكل عام)، وبدون شد عرضي. ويمكن أن تحد متطلبات النشر من الطول الممكن قياسه، ويعتمد ذلك على قطر الوشيعة، ويمكن أن يجعل القياس إجراء مدمراً. واللف متعدد الطبقات ممكن، ولكن بعد مقارنته بنتائج الطبقة الوحيدة أو الأطوال الأقصر.

ولا يوصى بقياس الألياف غير المكبلة المنشورة على وشائع النقل. وبينت نتائج تشتت PMD مع هذا النشر أنها أقل بكثير من النتائج التي كان يمكن الحصول عليها بكبل ألياف شديدة التشتت وأكبر بكثير مما كان يمكن الحصول عليه من كبل بألياف ضعيفة التشتت PMD.

ملاحظة – وإن كانت عينة الاختبار ليف عادة، إلا أنه يمكن إجراء هذا الاختبار أيضاً على مكونات متقطعة. وفي هذه الحالة، لا يؤخذ معامل PMD في الاعتبار.

3.2.1.5 إجراء القياس

1.3.2.1.5 القياس

أ) يعبر الضوء الخارج من المصدر البصري عبر مرقاب الاستقطاب ليقترن بليف خاضع للاختبار. يضبط مرقاب الاستقطاب لتحقيق الاستعمال الأمثل لظروف تحديد زاوية الدوران على مجال بوانكاريه، عند الضرورة. إذا كانت المسارات في شكل ليف، يكفل ثبات الألياف أثناء القياس.

ب) يقترن خرج الألياف الخاضعة للاختبار بدخل المقطاب.

ج) يتم اختيار مدى طول الموجة التي يجري عليها القياس.

د) يتم اختيار طول موجة $\Delta\lambda$ (بقيمة nm) التي يتم عندها قياس معلمات ستوكس. ولتجنب دوران حالة استقطاب الخرج (PSP) أكثر من 180° مقارنة بمحور PSP على مجال بوانكاريه مروراً من طول موجة اختبار إلى التالية، ينبغي استيفاء الاشتراط $\Delta\tau_{max}\,\Delta\lambda \le 4$ ps.nm، حيث تقدر $\Delta\tau_{max}$ (بقيمة PS) وهي أقصى قيمة متوقعة لليف خاضع للاختبار.

هـ) تسجل القيم المقاسة لمعلمات ستوكس عند أطوال موجة مختارة بطرية تتلاءم مع التحليل الموصوف في البنود التالية.

2.3.2.1.5 حساب وتفسير النتائج

بعد قياس تقلب الاستقطاب باستعمال محلل ستوكس (أو محلل دوار) يمكن لهذا التقلب أن يحوله إلى منحنى SOP كدالة لطول الموجة (تردد).

ويعبر عن SOP بالمعادلة التالية:

$$SOP = \frac{1-\eta^2}{1+\eta^2} \qquad (11\text{-}5)$$

حيث:

$$\eta = \tan\left[0.5\tan^{-1}\left\{S_3 / \sqrt{S_1^2 + S_2^2}\right\}\right] \quad (12\text{-}5)$$

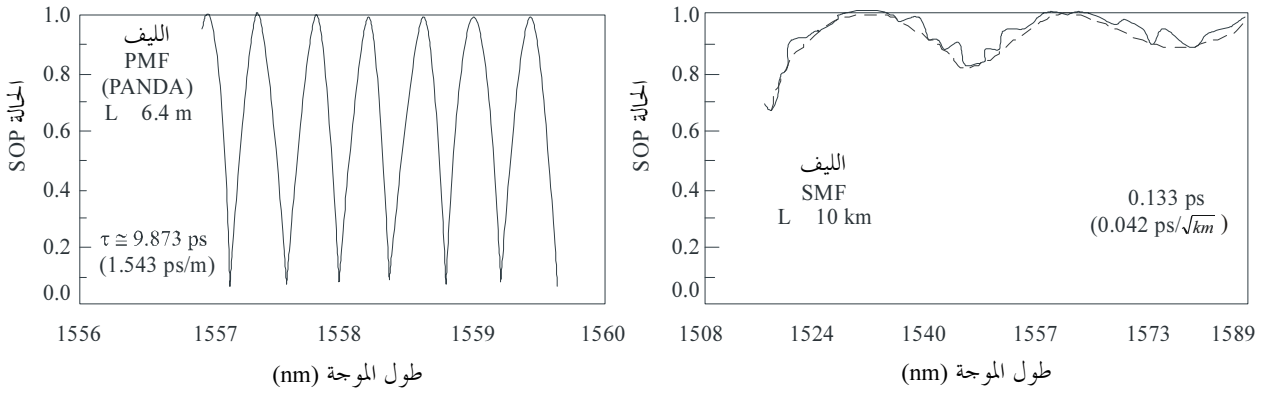
تكون η في هذه الحالة إهليلجية الاستقطاب، S_1 وS_2 وS_3 هي معلمات ستوكس.

في الشكل 5 تكافئ الذروة (أو الحد الأقصى) إلى الذروة لمنحنيات SOP تغير الطور في π.

تبين المعادلة التالية مهلة DGD أو التشتت PMD $\delta\tau$.

$$\Delta\tau = \frac{N}{2}\cdot\frac{1}{\Delta f} = \frac{N}{2}\cdot\frac{\lambda_1\lambda_n}{c\Delta\lambda} \quad (13\text{-}5)$$

حيث تمثل N عدد منحنيات الحالة SOP من حد أقصى إلى حد أقصى آخر.



أ) ليف استبقاء الاستقطاب (بدون اقتران أسلوب)

ب) ليف أحادي الأسلوب من nm 1310 (SMF؛ التوصية G.652)

الشكل G.650.2/5 – تمثيل حالة الاستقطاب (SOP) لنموذجي قياس التشتت PMD

4.2.1.5 تقديم النتائج

أ) ترتيبات إجراء الاختبار وخوارزميات المعالجة.

ب) مدى طول الموجة، رتبة طول الموجة، وعدد النقاط المعاينة.

ج) درجة حرارة العينة والظروف البيئية.

د) تعرف هوية الليف وطوله.

هـ) ظروف انتشار الليف.

و) الدلالة على الدقة والتكرارية.

ز) مخطط الدقة والتكرارية.

ح) مخطط توزيع التواتر للمهلة DGD مقابل طول الموجة (عند الحاجة).

ط) متوسط المهلة DGD.

ي) معامل التشتت PMD.

3.1.5 طريقة الاختبار البديلة الثانية: طريقة قياس التداخل

1.3.1.5 اعتبارات عامة

تصف هذه الطريقة إجراء لقياس تشتت PMD للألياف والكبلات البصرية أحادية الأسلوب.

تمثل القيمة المقاسة تشتت PMD_{RMS} على مدى طول موجة مقاسة عريضة لمصادر نمطية عريضة النطاق مثل ثنائي المسار بانبعاث ضوئي LED، وتركيبة من LED's ومصدر إرسال تلقائي مضخم (ASE) في النافذة 1310 nm أو في النافذة 1550 nm أو أي نافذة تمثل أهمية، وذلك وفقاً لاحتياجات المستعمل.

ويحدد التشتت PMD بواسطة مقياس التداخل الذي يتضمن وظيفة ارتباط تلقائي وارتباط متبادل بالمجال الكهرومغنطيسي الذي يصدره مطراف ليف خاضع للاختبار (FUT) عندما يضاء بواسطة مصدر مستقطب عريض النطاق عند الطرف الآخر.

والميزة الرئيسية المستمدة من هذه الطريقة هي أن زمن القياس سريع للغاية وسهولة استعمال الجهاز ميدانياً. ويمكن الحصول على الدينامية والاستقرار عن طريق التقنية المعروفة لمطيافية تحويل فوريه.

يجب أن يكون الليف أحادي الأسلوب في مدى طول الموجة المقاسة.

وتستعمل طريقة قياس التداخل إجراءين للتحليل يترتب عليهما نتائج قياس مختلفة بعض الشيء:

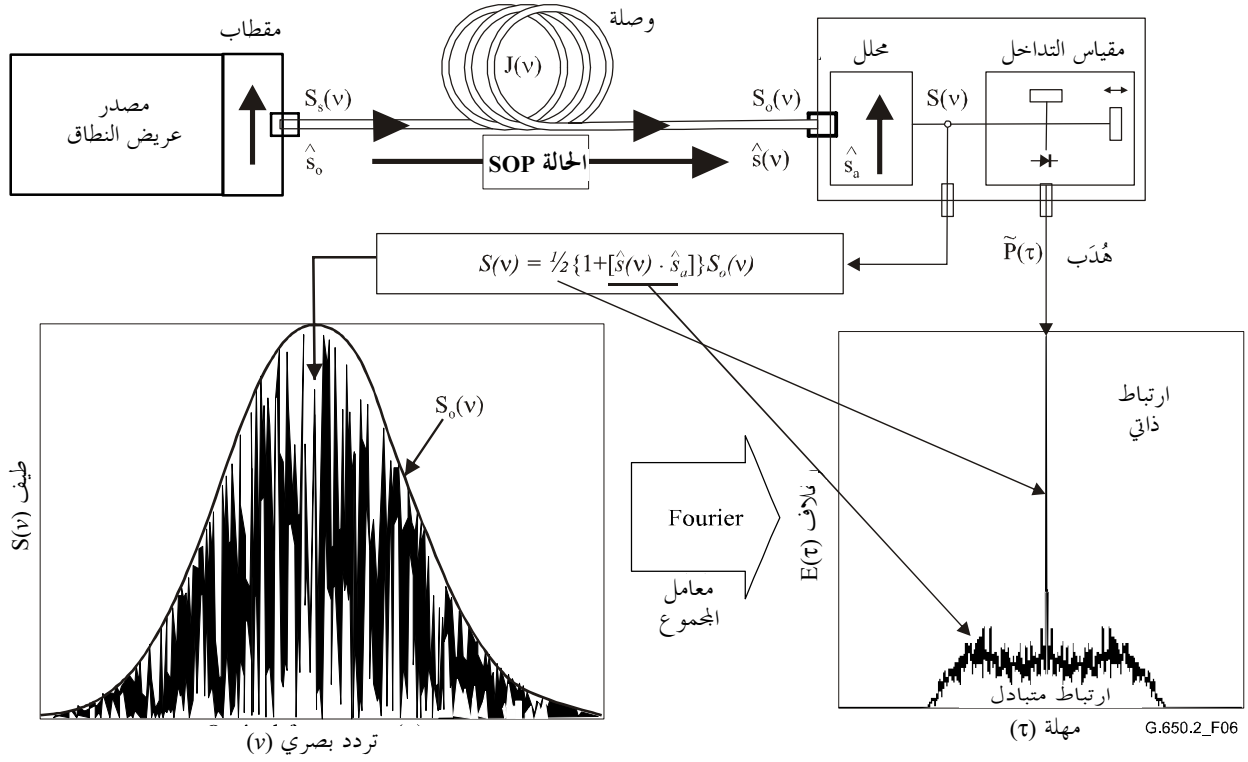
وتستعمل طريقة التحليل التقليدي (TINTY) مجموعة من ظروف التشغيل المحددة تسمح بتطبيقات ناجحة وإنشاء أساسي؛

وطريقة التحليل العام (GINTY) لا تستعمل أية قيود ولكن تستعمل إنشاء أساسي يعدل مقارنة بطريقة التحليل التقليدي (TINTY).

2.3.1.5 جهاز الاختبار

يرد في الشكل 6 إنشاء نوعي يعتبر أساساً للتطبيق التجريبي لطريقة تحليل INTY. والتغييرات في هذا الإنشاء ممكنة ومبينة في الشكل الوارد فيما يلي. ويمكن أن يكون جهاز قياس التداخل في شكل مسير هوائي أو ليف، ويمكن أن يكون من نمط مايكلسون أو ماك زندر وأن يقع إلى جانب المصدر أو إلى جانب الكاشف. وترد أمثلة في الأشكال 7 و8 و9.

ملاحظة – عندما يستعمل مقياس تداخل ليفي، ينبغي إيلاء الاعتبار الواجب إلى التشتت اللوني لليف الذي يمكن أن يضاف إلى عدم تيقن القياس.



الشكل G.650.2/6 – إنشاء نوعي لتقنية قياس التداخل

المعلمات المستعملة في الشكل 6 وفيما بعد في نص هذه الوثيقة هي:

ν تردد بصري ($\lambda\nu = c$)؛

τ فرق وقت الانتشار ذهاباً وإياباً بين ذراعي مقياس التداخل؛

$S_s(\nu)$ طيف بصري، عند مدخل الليف الخاضع للاختبار = كثافة بصرية قدرها $\vec{E}_s(\nu)$ طيف المجال الكهربائي للمصدر؛

$S_o(\nu)$ طيف بصري، عند خرج الليف الخاضع للاختبار FUT (دخل مقياس التداخل)؛

$S(\nu)$ طيف بصري، عند محلل الخرج (دخل مقياس التداخل)؛

$\hat{s}_0$ دخل الحالة SOP (عند دخل الليف الخاضع للاختبار FUT؛ متجه ستوكس الوحدة)؛

$\hat{s}(\nu)$ خرج الحالة SOP (عند خرج الليف الخاضع للاختبار FUT)؛

$\hat{s}_a$ محور إرسال المحلل؛

$\hat{s}(\nu)\cdot\hat{s}_a$ معلمة ستوكس تعطي استقطاب $\hat{s}(\nu)$ على محور إرسال المحلل. وهذه المعلمة هي تلك التي تتضمن معلومة تشتت PMD؛

$P(\tau)$ القدرة البصرية عند خرج مقياس التداخل، كدالة للمهلة τ ؛

$\widetilde{P}(\tau)$ الجزء $P(\tau)$ المعتمد على (τ) (الجزء البديل "a.c."")؛

P_0 الجزء الثابت من $P(\tau)$ (الجزء المتواصل "d.c."")؛

$E(\tau)$ غلاف الهَدب

$E_x(\tau)$ غلاف الارتباط المتبادل

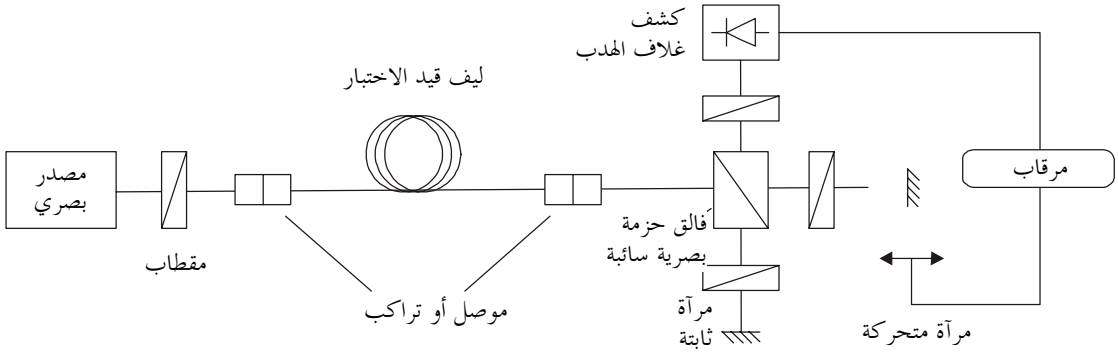
$E_0(\tau)$ غلاف الارتباط التلقائي

تساوي القدرة البصرية عند خرج مقياس التداخل، $P(\tau)$، مجموع الجزئين "a.c." و"d.c.".

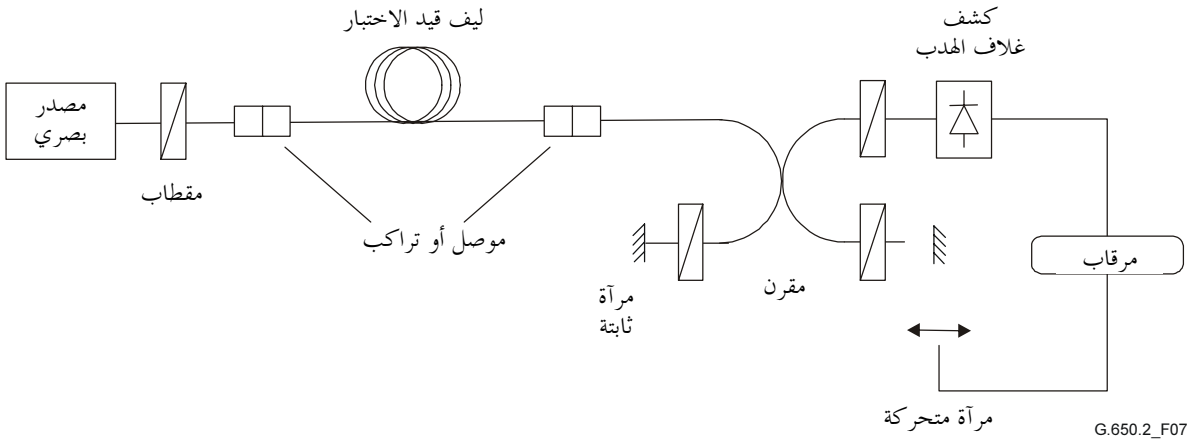
والجزءان متساويان عند $\tau = 0$ بحيث يمكن حساب الجزء "a.c.". وبالنسبة لمقياس تداخل نموذجي، يعتبر الجزء "a.c." دالة زوجية، يساوي جزئها الأيمن تحويل فوريه لجيب تمام الطيف البصري، $S(\nu)$، الذي يبثه المحلل. وبالنسبة لأجهزة قياس غير نموذجية، ينبغي إجراء بعض التصحيحات ويعتمد ذلك على تفاصيل التطبيق.

وفي حالة إجراء تحليل TINTY، غلاف قياس التداخل، $E(\tau)$، هو القيمة المطلقة للجزء "a.c.". وفيما يتعلق بإجراء تحليل GINTY، يرد وصف للحسابات الإضافية للحصول على أغلفة الارتباط المتبادل والارتباط الذاتي في البند 2.4.3.1.5. وتنطوي هذه الحسابات على قياسين لقياس التداخلات الناشئة عن وضع المحلل في الحالتين SOP المتعامدتين.

وترد إنشاءات أخرى فيما يلي.

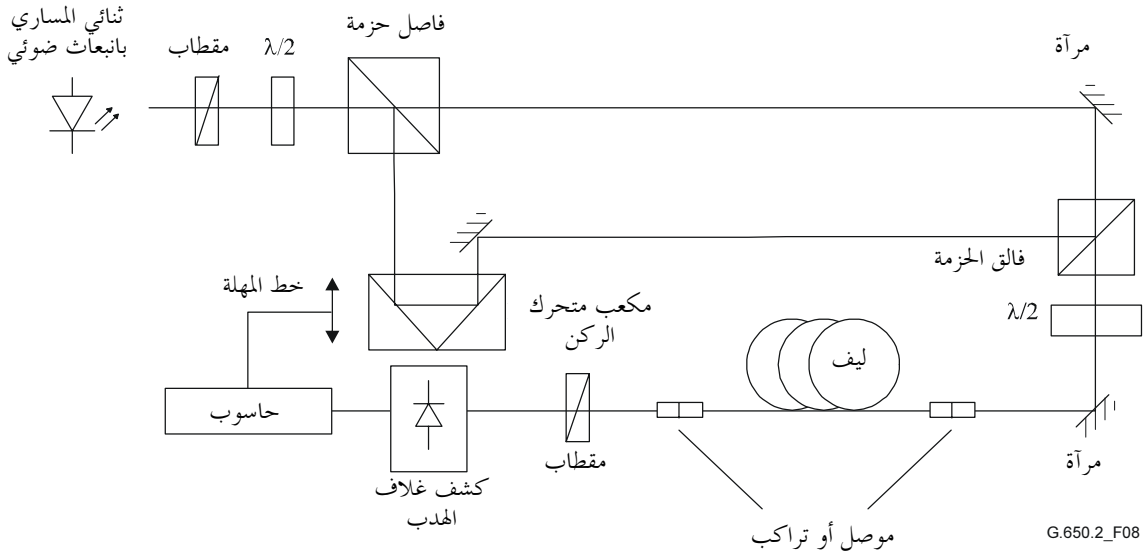


أ) بفالق حزمة بصرية غير مرتبة

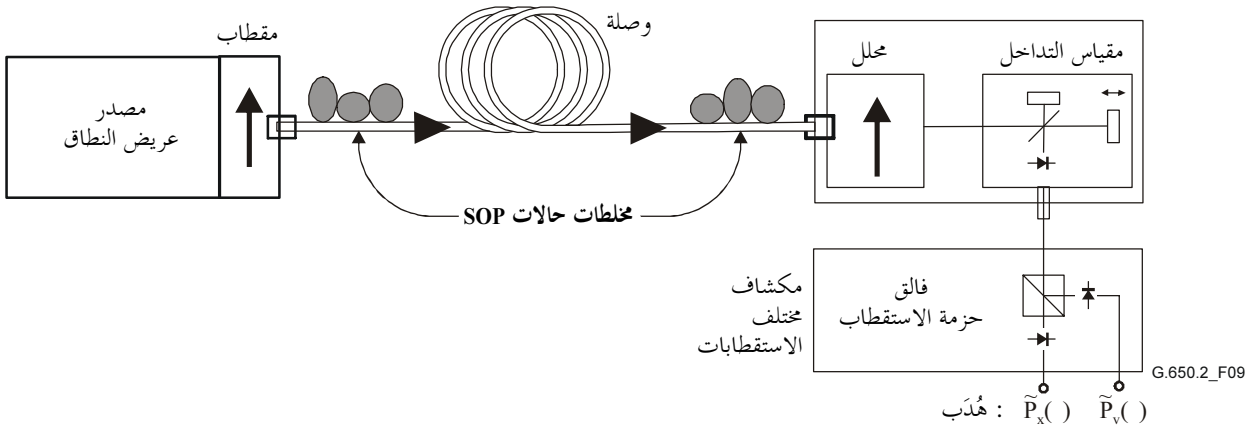


ب) بمقرن ليف

الشكل G.650.2/7 – طريقة قياس التداخل باستعمال مقياس تداخل ميكلسون



الشكل G.650.2/8 – طريقة قياس التداخل باستعمال مقياس تداخل من نمط ماك زندر مع مسير هوائي



الشكل G.650.2/9 – طريقة قياس التداخل (GINTY) باستعمال تخليط حالات دخل/خرج SOP ومكشاف مختلف الاستقطابات

1.2.3.1.5 المصدر البصري

يستعمل مصدر طيفي عريض الاستقطاب، مثل ثنائي المسار بانبعاث ضوئي LED، ومجموعة فائقة من ثنائي المسار بانبعاث ضوئي LED's أو مصدر إرسال تلقائي مضخم ASE يعقبه مقطاب. ويكون طول الموجة المركزية للمصدر الضوئي واقعاً في النطاق O و/أو النطاق C أو أي نطاق آخر يمثل أهمية. وتبلغ القيمة النمطية لمصدر عرض الخط نحو 60 nm أو أعرض من الطيف FWHM. ويتطلب إجراء تحليل TINTY أن يكون الشكل الطيفي للمصدر غوسي تقريباً، دون تموجات يمكن أن تؤثر على وظيفة الارتباط التلقائي للضوء المنبعث. ولا تفرض طريقة GINTY مثل هذه المتطلبات. ويجب معرفة عرض خط المصدر (الذي يطلق عليه أيضاً العرض الطيفي لنطاق LED)، $\Delta\lambda$، لحساب وقت التماسك، t_c ، المحدد بواسطة المعادلة التالية:

$$t_c = \frac{\lambda_0^2}{\Delta\lambda\, c} \qquad (14\text{-}5)$$

حيث:

λ_0 هو طول الموجة المركزية للمصدر؛

$\Delta\lambda$ هو خط عرض المصدر؛

c سرعة الضوء في الفراغ.

2.2.3.1.5 المحلل

يجب على المحلل أن يستقطب الضوء على مدى طول موجة المصدر بالكامل. وفي حالة إجراء تحليل GINTY، ينبغي للمحلل أن يكون قادراً على الدوران بحيث يكون متعامداً على الإنشاء الأولي.

3.2.3.1.5 مخلطات الاستقطاب (اختيارية)

يسمح مخلط الاستقطاب، الوارد في الشكل 9، باختيار أي حالة SOP لدخل أو خرج الليف الخاضع للاختبار FUT. ويسمح فالق حزمة الاستقطاب بالكشف الآني عما يمكن كشفه بطريقتي التحليل المتعامدتين. ويمكن تحقيق العنصر الوظيفي لمخلط حالات الاستقطاب، ومختلف حالات SOP للدخل ومختلف إنشاءات التحليل عند الخرج، بأساليب أخرى.

4.2.3.1.5 فالق حزمة مقياس التداخل

يستعمل فالق حزمة مقياس التداخل لفلق ضوء السقوط المستقطب إلى مكونتين تنتشران في أذرع مقياس التداخل. ويمكن أن يكون فالق الحزمة إما في شكل مقرن الليف كما هو مبين في الشكل 7 ب) أو في شكل فالق حزمة بصرية غير مرتبة كما هو مبين في الشكل 7 أ).

5.2.3.1.5 الكاشف

يقترن الضوء المنبعث من الليف الخاضع للاختبار بكاشف ضوئي تكون نسبة الإشارة إلى الضوضاء فيه مناسبة للقياس. ويمكن أن يكون نظام الكشف من نمط تزامني يستعمل تقنيات انقطاع/تقييد في المضخم أو أي تقنيات مماثلة.

6.2.3.1.5 الحاسوب

يستعمل لتحليل مخططات التداخل حاسوب مزود بالبرمجيات الملائمة.

3.3.1.5 العينات

تكون عينة الليف الخاضع للاختبار FUT من ليف أحادي الأسلوب ومعروف الطول، مكبل أو غير مكبل. ويجب أن تكون العينة والضفيرة في وضع ثابت بدرجة حرارة اسمية ثابتة طوال عملية القياس. وتؤمن الظروف البيئية العادية. وفي حالة الألياف والكبلات المركبة، يمكن استعمال ظروف الانتشار السائدة.

ومن المهم تقليل الاقتران بالأسلوب المستحث للانتشار إلى أدنى حد ممكن، في حالة قياس الألياف المكبلة، ويجري ذلك لكي تدعم المتطلبات الأولية للألياف المكبلة PMD_Q. وفي هذه الحالة، يدعم الليف بطريقة ما (على بكرة عادة بأدنى نصف قطر لف قدره 150 mm) وبتوتر لليف قدره صفر عملياً (أقل من 5 g عادة)، وبدون شد مستعرض. ويمكن أن تحد متطلبات الانتشار هذه من الطول الذي يمكن قياسه، ويعتمد ذلك على قطر الوشيعة، مما يجعل القياس مدمراً. واللف متعدد الطبقات ممكن، ولكن بعد مقارنته بنتائج اللف أحادي الطبقات على الأطوال الأصغر.

ولا يوصى بقياس الألياف غير المكبلة الملفوفة على وشائع نقل. وتشير نتائج التشتت PMD أن هذا اللف كان أقل بكثير من النتائج المستمدة من ألياف عالية التشتت وأكبر بكثير مما كان من الممكن الحصول عليه في شكل كابل بألياف ضعيفة التشتت PMD.

ملاحظة – بالنظر إلى أن عينة الاختبار هي ليف عادة، يمكن أن يجرى الاختبار أيضاً على مكونات متقطعة. وفي هذه الحالة، يكون معامل تشتت PMD غير ملائم. إلا أنه، فيما يتعلق بإجراء التحليل TINTY، تكون استبانة تشتت PMD محدودة دائماً بسبب عرض ذروة الترابط الذاتي (البالغ بشكل عام 100-fs). ولا يعاني إجراء تحليل GINTY من مثل هذه القيود ويمكن الحصول على استبانة للتشتت PMD المحددة فقط بسبب عدم التيقن المحيط بتنفيذ الأجهزة (تتراوح عادة بين 10-fs أو أقل).

4.3.1.5 الإجراء

يقترن طرف الليف الخاضع للاختبار FUT بالخرج المستقطب لمصدر الضوء المستقطب. ويقترن الطرف الآخر بالأجهزة البصرية للخرج. ويمكن إجراء ذلك بواسطة واصلات ألياف معيارية، أو بجدل أو بنظام لتراصف الألياف. وإذا استُعمل النظام الأخير، ينبغي استعمال زيت مواءم المعامل لتجنب الانعكاسات.

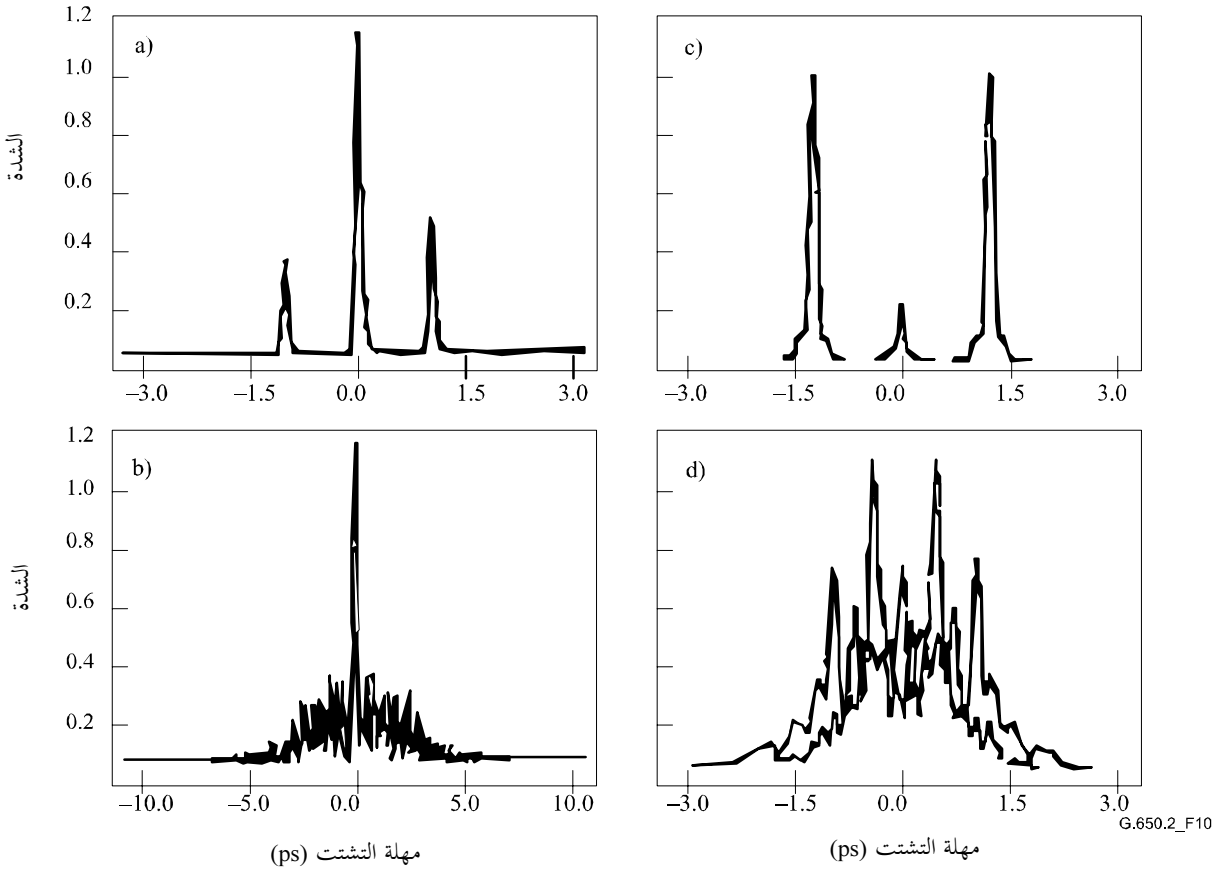
تكيف القوة البصرية لخرج مصدر الضوء بقيمة مميزة مرجعية لنظام الكشف المستعمل. وللحصول على تباين كافٍ للهدب، يجب أن تكون القوة البصرية للذراعين متماثلة تقريباً.

1.4.3.1.5 إجراء تحليل TINTY

تجمع في المقام الأول المعطيات وذلك بتحريك مرآة ذراع مقياس التداخل وتسجيل شدة الضوء. تطرح من مقياس التداخل القيمة الناتجة عن $\tau = 0$ للحصول على $\widetilde{P}(\tau)$. والقيمة المطلقة $\widetilde{P}(\tau)$ هي غلاف الهدب، $E(\tau)$.

وانطلاقاً من مخطط الهدب لحالة استقطاب معينة، يمكن حساب تشتت PMD كما هو مشار إليه فيما يلي. ويبين في الشكل 10 أمثلة لأنماط الهدب للاقتران القوي والضعيف لأساليب الاستقطاب.

وفي حالة الاقتران بأسلوب غير كاف أو في حالة التشتت المنخفض PMD، يوصى بتكرار القياس لمختلف حالات SOP أثناء القياس لكي يتسنى الحصول على نتيجة متوسطة لجميع حالات الاستقطاب SOP.



الشكل G.650.2/10 – مثال لمخططات هدب ناتج عن جهاز بنمط ارتباط ذاتي (a، b) وجهاز بنمط ارتباط متبادل (c، d) لاقتران جدير بالإهمال (مرتفع) وعشوائي (منخفض) لأساليب الاستقطاب

وأغلفة الهدب الناتجة عن إجراء TINTY هي تركيبة من دالتي الارتباط المتبادل والارتباط الذاتي. ويجب استعمال خوارزمية لمحاولة عزل الجزء الآتي من وظيفة الارتباط المتبادل.

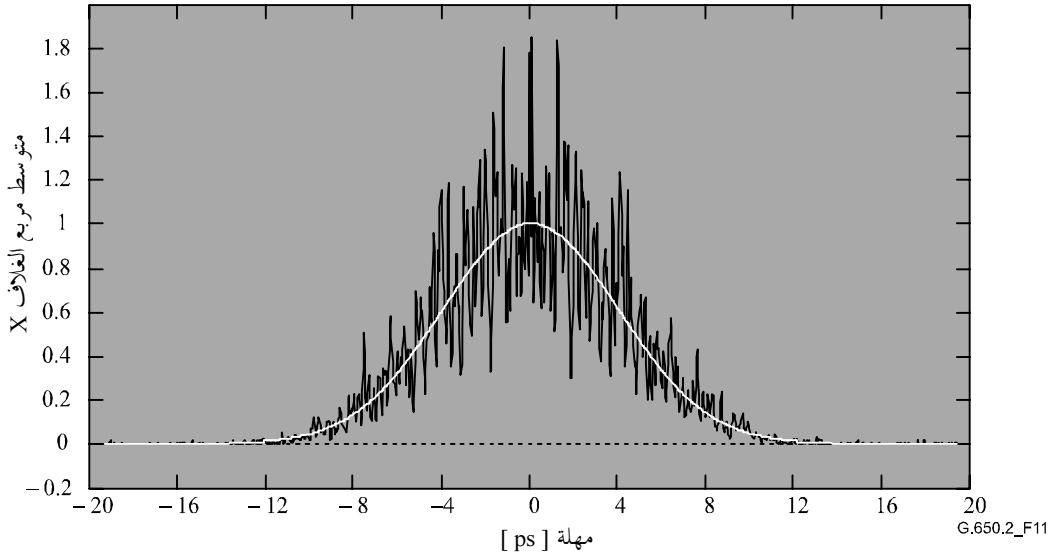
2.4.3.1.5 إجراء تحليل GINTY

يطلق على تركيبة من جهاز معين لاستقطاب الدخل وزوج متعامد من الإنشاءات حالة دخل/خرج حالة الاستقطاب (SOP). يستكمل مسح (مسوح) جهازي قياس التداخل ويطرح الجزء "d.c." من كل جهاز للحصول على $\widetilde{P}_x(\tau)$ و $\widetilde{P}_y(\tau)$، الهدب الناتجة التعامدية.

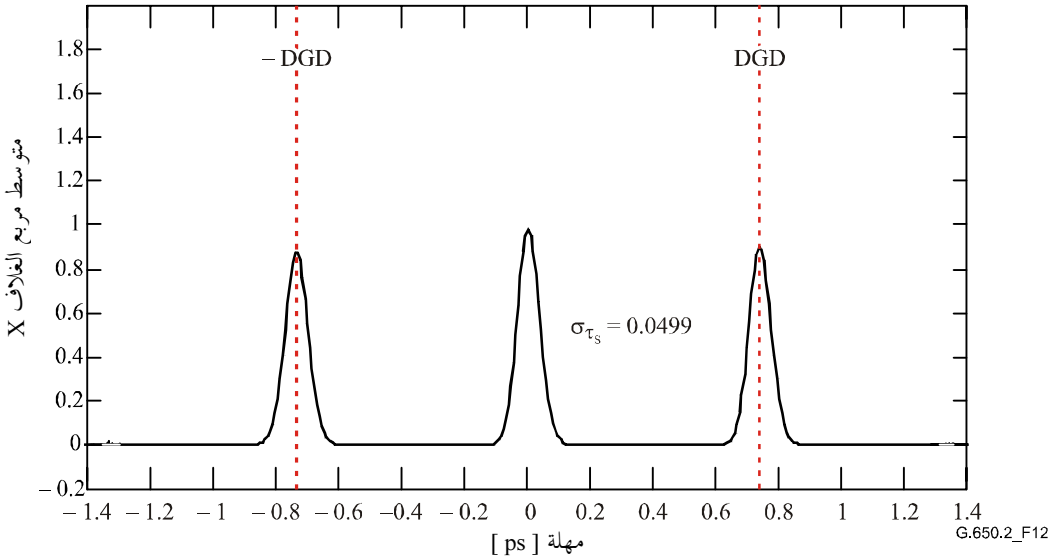
وتحسب أغلفة هدب الارتباط الذاتي والارتباط المتبادل $E_x(\tau)$ و$E_0(\tau)$ على النحو التالي:

$$E_x(\tau)=\left|\widetilde{P}_x(\tau)-\widetilde{P}_y(\tau)\right| \qquad E_0(\tau)=\left|\widetilde{P}_x(\tau)+\widetilde{P}_y(\tau)\right| \tag{15-5}$$

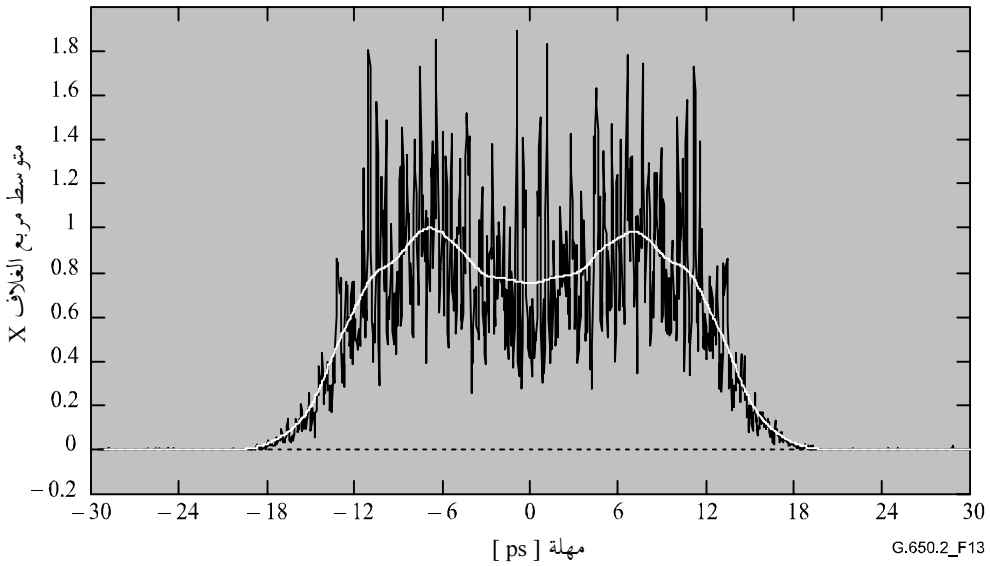
ويجري تربيع الدالتين لإجراء الحسابات اللاحقة وطريقة تمثيلها ويوضح فيما يلي أمثلة نتائج الارتباط المتبادل التربيعية. ويجدر ملاحظة أن ذروة الارتباط الذاتي الملاحظة في طريقة تحليل TINTY تُفتقد هنا.



الشكل G.650.2/11 – مثال لمخطط هدب ناتج عن تحليل GINTY وتخليط حالات دخل/خرج SOP لاقتران بأسلوب عشوائي



الشكل G.650.2/12 – مثال لمخطط هدب ناتج عن تحليل GINTY وتخليط حالات دخل/خرج SOP لاقتران بأسلوب جدير بالإهمال



الشكل G.650.2/13 – مثال لمخطط هدب ناتج عن تحليل GINTY وتخليط حالات دخل/خرج SOP لاقتران بأسلوب مختلط

ترد فيما يلي الخيارات الممكنة لخلط حالتي الاستقطاب. وحينما تقاس عدة حالات دخل/خرج SOP، يجب أن تسند إليها الدلالة i من أجل الحسابات اللاحقة.

1.2.4.3.1.5 زمرة موللر من 9 حالات

مجموع الأغلفة التسعة المربعة الملاحظة في الحالات التسع لدخل/خرج SOP تساوي بدقة الغلاف التربيعي المتوسط بتخليط منتظم. والحالات التسع لدخل/خرج SOP هي التالية: ثلاثة محاور للتحليل تشكل زاوية قائمة ثلاثية السطوح، لكل حالة من حالات دخل SOP التي تشكل سطح ثلاثي بزاوية قائمة.

2.2.4.3.1.5 التخليط العشوائي

- تخليط من مسح إلى آخر: ضبط أوتوماتي/يدوي للمخلطات في كل مسح.
- تخليط مستمر: حينما تجمع الأغلفة التربيعية، يمكن إنجاز التخليط أثناء المسح. تضبط المخلطات الأوتوماتية لتغطية المجال باستمرار كدالة للوقت.
- تخليط سريع أحادي المسح: إذا كانت المخلطات سريعة بما يكفي، يمكن ملاحظة الأغلفة التربيعية المخلطة على النحو الواجب أثناء مسح أحادي. غير أن هذا الأمر يتطلب أحكاماً خاصة لتجنب اللغط بين الجزء (المستمر) a.c. والجزء السابق d.c. البديل من مخطط التداخلات.

5.3.1.5 الحسابات

تسمح طريقتان بإجراء حساب التشتت PMD_{RMS}. بالنسبة لاقتران بأسلوب عشوائي دقيق حينما يكون مخطط التداخلات في شكل غوسي، يمكن تحويله إلى تشتت PMD_{AVG} باستعمال المعادلة 3-3.

1.5.3.1.5 الحسابات في إطار إجراء التحليل TINTY

في حالة الاقتران بأساليب جديرة بالإهمال، يكون الفاصل بين الذروات الوحيدة المحددة بدقة من المركز هي قيمة المهلة DGD، وهي أيضاً قيمة التشتت PMD.

والحسابات التالية مناسبة لنظام الاقتران بأسلوب عشوائي بألياف/كبلات أو وصلات طويلة. ويميز انتشار غلاف الهدب، الذي لا يتضمن ذروة مركزية.

تحدد قيمة التشتت PDM_{RMS} بدءاً من اللحظة الثانية (عرض تربيعي متوسط RMS) لدالة الارتباط المتبادل للإشارة المكتشفة (غلاف الهدب).

$$PMD_{RMS} = \left(\sqrt{\frac{3}{4}}\right)\sigma_{\varepsilon} \qquad (16\text{-}5)$$

حيث:

σ_{ε} هو عرض تربيعي متوسط RMS لغلاف الارتباط المتبادل.

يرد وصف خوارزمية تفصيلية لحساب σ_{ε} انطلاقاً من غلاف هدب موصوفة في التذييل I.1.

وبالنسبة لبعض الافتراضات الواردة أدناه، يمكن ربط المعادلة 5-14 بالمعادلة 3-2 على النحو التالي:

$$PMD_{RMS} = \left(\sqrt{\frac{3}{4}}\right)\sigma_{\varepsilon} \qquad (17\text{-}5)$$

وتستمد المعادلة 5-12 انطلاقاً من النظرية بواسطة الافتراضات التالية:

- اقتران بأسلوب عشوائي مثالي؛

ملاحظة 1 – يعني اقتران عشوائي مثالي $L/h \to \infty$، ومحور انكسار مزدوج بتوزيع منتظم. L هو طول الجهاز وh طول اقتران الاستقطاب. وبالنسبة لجهاز يتألف من قطع انكسار مزدوج متسلسلة N طولها h، يطابق ذلك محاور موزعة بانتظام $N \to \infty$.

ملاحظة 2 – تحليل الاقتران بأسلوب معدوم (أو جدير بالإهمال) ممكن.

- مصدر غوسي محض، بدون تموجات؛
- $PMD >> \sigma_0$

حيث:

σ_0 هو عرض RMS لغلاف الارتباط الذاتي؛

- ظروف مسرانية (صادقة التمثيل افتراضاً).

ملاحظة 3 – بالنظر إلى أن المصدر غوسي، يجب أن يكون الناتج في شكل متوسط متزن لقيم مهلة DGD. وهذا الاتزان غير محدد في إجراء تحليل TINTY، لكنه محدد في إجراء تحليل GINTY. ولهذا السبب، من المتوقع أن تسفر هذه الطريقة عن ناتج مختلف لطول موجة معينة ووقت معين يختلف عن الطرائق التي تستعمل الاتزان المستطيل (على غرار مثال طريقة الاختبار المرجعية RTM). وافتراض الظروف المسرانية يؤدي إلى صلاحية العلاقة المتوقعة بين القيم. وفي الممارسة، سيختلف مدى أطوال الموجات المعاينة بواسطة تطبيقات مختلفة لطرائق أخرى أيضاً مما يعني الحصول على نتائج مختلفة فيما بينها أيضاً.

2.5.3.1.5 الحسابات في إطار إجراء التحليل GINTY

يسمح إجراء تحليل GINTY بإزالة بعض الافتراضات المطلوبة في إجراء تحليل TINTY في المعادلة (5-16) ولا سيما:

- افتراض الاقتران بأسلوب عشوائي مثالي؛
- افتراض مصدر غوسي؛
- افتراض أن التشتت PMD أكبر مقارنة بدالة الارتباط الذاتي.

تكون أغلفة تربيعية متوسطة للارتباط المتبادل والارتباط الذاتي $\overline{E}_x^2(\tau)$ و $\overline{E}_0^2(\tau)$ بواسطة المعادلة:

$$\overline{E}_x^2(\tau) = \frac{1}{N}\sum_i E_{xi}^2(\tau) \qquad \overline{E}_0^2(\tau) = \frac{1}{N}\sum_i E_{0i}^2(\tau) \qquad (18\text{-}5)$$

حيث N هو عدد حالات دخل/خرج SOP.

يحسب عرض RMS لغلافي المعاينة بمتوسط تربيعي σ_0 وσ_x على التوالي. ويرد في التذييل I.2 مثال لخوارزمية تسمح بهذا الحساب. والتعاريف الرياضية لهذه الأعراض هي:

$$\sigma_x^2 = \frac{\int_\tau \tau^2(\tau)\left\langle E_x^2(\tau)\right\rangle d\tau}{\int_\tau \left\langle E_x^2)(\tau)\right\rangle d\tau} \qquad \sigma_0^2 = \frac{\int_\tau \tau^2(\tau)\left\langle E_0^2(\tau)\right\rangle d\tau}{\int_\tau \left\langle E_0^2(\tau)\right\rangle d\tau} \tag{19-5}$$

ومؤثر القيمة المتوقعة في المعادلتين أعلاه يتعلق بمعاينة موحدة وعشوائية لحالات دخل/خرج SOP.

ويعبر عن قيمة تشتت PMD_{RMS} على النحو التالي:

$$PMD_{RMS} = \left[\frac{3}{2}\left(\sigma_x^2 - \sigma_0^2\right)\right]^{1/2} \tag{20-5}$$

وترتبط المعادلة (5-20) بالمعادلة (3-2) على النحو التالي:

$$\frac{\int \Delta\tau^2(\nu) S_0^2(\nu) d\nu}{\int S_0^2(\nu) d\nu} = \frac{3}{2}\left(\sigma_x^2 - \sigma_0^2\right) \tag{21-5}$$

وباستعمال التعاريف المثالية للمصطلحات المتعلقة بالعرض التربيعي المتوسط للمعادلة (5-19)، تعتبر المعادلة (5-21) صحيحة لأي منحنى DGD موجود وقت القياس وأي خصائص طيفية للمصدر. واستنتج الجزء الوارد على يسار المعادلة 5-21 من متوسط القيمة التربيعية المتـــزنة الطيفية (بقدرة تربيعية).

وباستعمال افتراض الظروف المسرانية يستنتج ما يلي:

$$\left\langle \Delta\tau^2 \right\rangle = \left\langle \frac{\int \Delta\tau^2(\nu) S_0^2(\nu) d\nu}{\int S_0^2(\nu) d\nu} \right\rangle \tag{22-5}$$

6.3.1.5 عرض النتائج

أ) التاريخ.

ب) تعرف هوية الليف.

ج) نمط الليف.

د) طول الليف.

ه) ترتيبات إجراء الاختبار، بما في ذلك نمط المصدر وطول الموجة وعرض الخط (FWHM).

و) تقنية الحقن.

ز) نمط تقنية كشف الهدب.

ح) المخطط المقابل للمدى الممسوح وبنية الهدب (فقط حينما يكون نمط اقتران الأسلوب غير عشوائي).

ط) نشر الليف والظروف البيئية (نصف القطر، الإجهاد، درجة الحرارة، إلخ).

ي) نمط اقتران الأسلوب (عشوائي أو مختلط أو جدير بالإهمال).

ك) إجراء التحليل (TINTY أو GINTY).

ل) تشتت PMD_{RMS} أو PMD_{AVG} (يحدد أي تشتت) أو معامل تشتت PMD. إذا كانت درجة أسلوب الاقتران معروفة، يمكن التعبير عن هذا المعامل بما يلي ps/km أو $ps/\sqrt{km}$.

4.1.5 تقنية المحلل الثابت

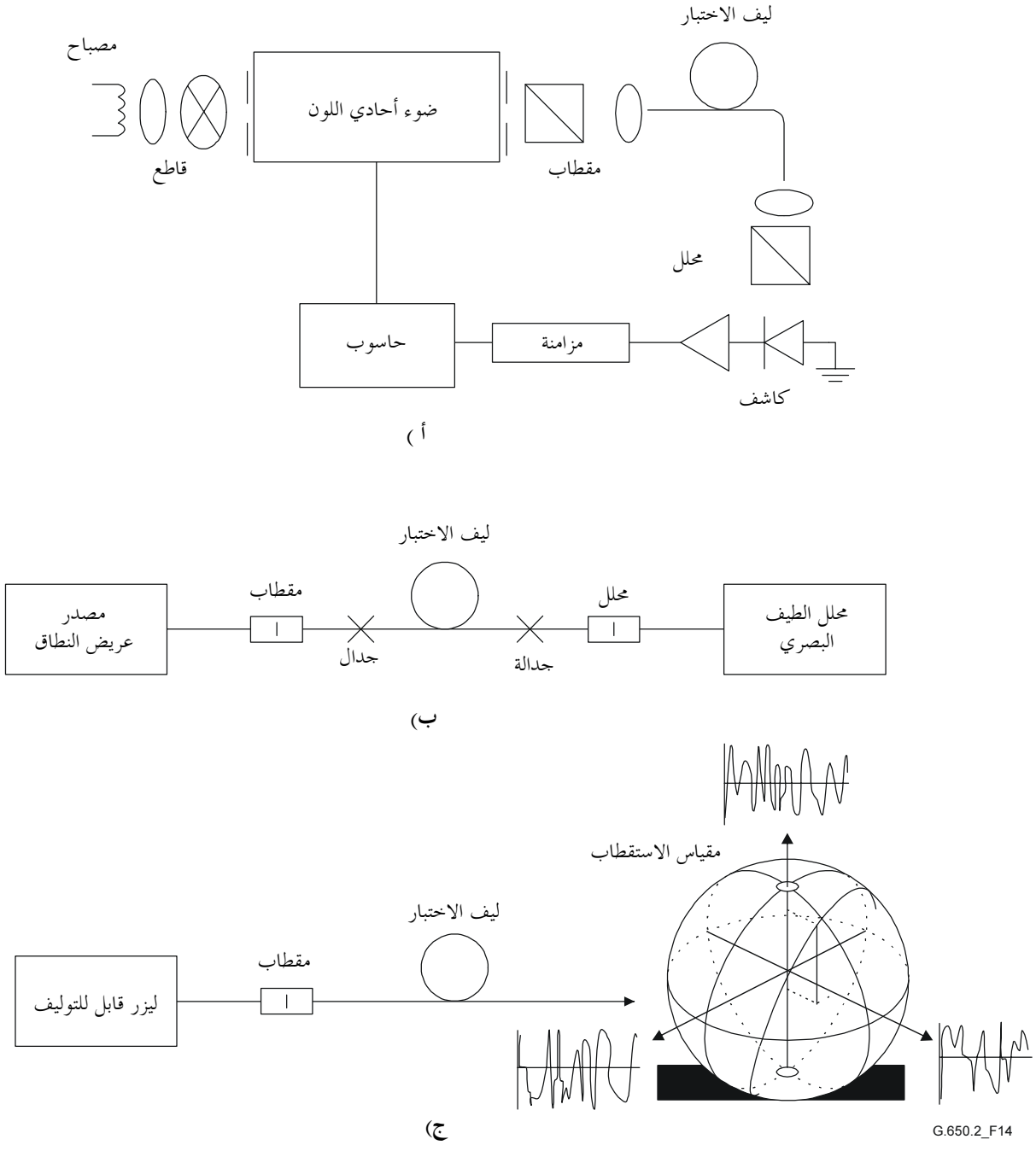
1.4.1.5 اعتبارات عامة

تصف طريقة الاختبار هذه قياس تشتت أسلوب الاستقطاب (PMD) للألياف البصرية أحادية الأسلوب. وينتج عنها قيمة وحيدة للقياس تمثل تشتت PMD على مدى طول موجة القياس، وهي عادة بضع مئات من جزء من ألف مليون من المتر

(نانومتر). ويمكن تطبيق هذه الطريقة على الألياف القصيرة والطويلة على السواء، في حدود اقتران بأسلوب استقطاب صفري أو قوي. وفي بعض الحالات، قد يكون من الضروري تكرار القياسات لتحقيق دقة مرضية في استعمال هذه الطريقة. ويقتصر هذا الإجراء على أطوال الموجة الأكبر أو المساوية لتلك التي يكون فيها الليف أحادي الأسلوب بالفعل.

2.4.1.5 جهاز الاختبار

انظر المخطط البياني في الشكل 14 للمكونات الرئيسية في نظام قياس نمطي.



الشكل G.650.2/14 – مخطط بياني للتجهيز (نمطي)

1.2.4.1.5 مصدر الضوء

يستعمل مصدر ضوء يبث إشعاعاً عند أطوال موجات القياس المستهدفة، مثل مصباح عريض النطاق، ثنائي (ثنائيات) المسار يبث الضوء، أو ليزر (ليزرات) قابل للتوليف. ويكون مستقراً من حيث الشدة والتوزيع الطيفي على فترة زمنية طويلة تكفي لإجراء القياس.

2.2.4.1.5 ضوء أحادي اللون

يحصل على مجموعة محددة من أطوال موجة الاختبار بواسطة ترشيح مصدر الضوء بضوء أحادي اللون وفقاً للشكل 14 أ) أو باستعمال محلل بصري للطيف ككاشف وفقاً للشكل 14 ب). ويعتبر هذا الترشيح غير ضروري عندما يكون المصدر ليزر قابل للتوليف. ويجب أن يكون التوزيع الطيفي ضيقاً بما يكفي بحيث يتجنب إزالة الاستقطاب الرئيسي للإشارة تحت تأثير التشتت PMD لليف الخاضع للاختبار (انظر الفقرتان 4.1.4.4.1.5 و8.2.4.4.1.5).

3.2.4.1.5 بصريات الدخل

يمكن استعمال نظام عدسة بصرية أو ضفيرة ليف أحادي الأسلوب لتنشيط ليف الاختبار. وتكون القدرة المقترنة في الليف مستقرة طوال مدة الاختبار. وإذا استعملت ضفائر، يجب تجنب آثار التداخل الناجم عن الانعكاسات. وقد يتطلب ذلك مواد مواءمة الدليل أو فالق زاوي. وتكون الضفائر أحادية الأسلوب.

تستعمل بعض الوسائل الملائمة، في حالة استعمال نظام عدسة بصرية، ظروف تفريغ مثلاً، لدعم استقرار مطراف دخل الليف.

4.2.4.1.5 كابت أسلوب الغمد

تزال أي قدرة لأسلوب الغمد من ليف الاختبار. تؤدي طلية الليف هذه الوظيفة في معظم الأحوال؛ وبخلاف ذلك، يستعمل جهاز لاستخلاص قدرة أسلوب الغمد.

5.2.4.1.5 بصريات الخرج

يجب أن تقترن كامل القدرة المنبعثة من ليف الاختبار بالمنطقة النشطة لنظام الكشف (انظر الشكل 14). ومن أمثلة الوسائل التي يمكن استعمالها نظام عدسة بصرية، أو جدالة مطراف ضفيرة أحادية الأسلوب أو اقتران تقابل دليل من ليف إلى ليف مباشرة مع دليل مطابق لنظام الكشف.

6.2.4.1.5 اكتشاف الإشارة

يستعمل كاشف بصري لكشف الإشارة ويكون خطياً ومستقراً على مدى الشدة ووقت القياس التي تواجه أثناء إجراء القياس. ويمكن أن يتضمن نظام نمطي الكشف المتزامن بواسطة قاطع/مكبر متزامن، أو مقياس القدرة البصرية، أو محلل الطيف البصري، أو مقياس الاستقطاب. ويجب أن يشتمل مدى طول الموجة نظام الكشف عن أطوال الموجة الناتجة عن مصدر الضوء، وذلك لاستعمال كامل المدى الطيفي للمصدر.

7.2.4.1.5 المقطاب والمحلل

لا يكون المقطاب عند دخل الليف ضرورياً (الشكل 14) إلا إذا لم تكن حزمة الحقن مستقطبة بالفعل (تكفي عادة نسبة الاندثار 3 dB). ولا تكون الوجهة الزاوية للمقطبات حرجة ولكنها يجب أن تظل ثابتة طوال القياس. وقد تكون بعض التعديلات على توجه المقطاب مفيدة في الاقتران بأسلوب ضعيف، وذلك بتنظيم اتساع التذبذب الوارد في الشكل 15 أ). ويمكن تحقيق ذلك بتدوير الليف (الألياف) عند جدالة أو الموصلات.

لا توجد ضرورة للمحلل في حالة استعمال المقطاب لكشف الإشارة (الشكل 14 ج)).

3.4.1.5 إجراء القياس

تكون عينة الاختبار معروفة الطول لليف بصري أحادي الأسلوب بكبل أو بدون كبل. ويجب تثبيت العينة والضفائر في موقع بدرجة حرارة ثابتة نسبياً طوال القياس.

ملاحظة – على الرغم من أن عينة الاختبار تكون ليفاً عادة، يمكن إجراء هذا الاختبار على مكونات منفصلة. ويكون معامل تشتت PMD غير صالح في هذه الحالة.

ويمكن مراقبة استقرار درجة حرارة جهاز الاختبار عن طريق قياس قدرة خرج الليف عند طول ثابت للموجة، ووجود محلل الخرج. وينبغي أن يكون تغير قدرة الخرج صغيراً مقارنة بالتغييرات الناتجة عن زيادة طول الموجة خلال الفترة الزمنية المقابلة لقياس نمطي كامل.

ومن المهم عند قياس الألياف غير المكبلة، تقليل الاقتران بالأسلوب المستحث للانتشار إلى أدنى حد ممكن، ويجري ذلك لكي يتسنى دعم المتطلبات الأولية المتعلقة بتشتت PMD_Q للألياف المكبلة. وفي هذه الحالة، يثبت الليف بطريقة ما (على بكرة عادة بأدنى نصف قطر لف قدره 150 mm) بتوتر لليف قدره صفر عملياً (عادة أقل من 5 g)، وبدون شد مستعرض. ويمكن أن تحد متطلبات الانتشار هذه من الطول الذي يمكن قياسه، ويعتمد ذلك على قطر الوشيعة، ويمكن أن يجعل القياس مدمراً. واللف متعدد الطبقات ممكن ولكن بعد مقارنته بنتائج اللف أحادي الطبقات على الأطوال الأصغر.

ولا يوصى بقياس الألياف غير المكبلة الملفوفة على وشائع نقل. وتشير نتائج التشتت PMD أن هذا الانتشار كان أقل بكثير من النتائج المستمدة من ألياف عالية التشتت PMD وأكبر بكثير مما كان يمكن الحصول عليه في شكل كبل بألياف ضعيفة التشتت PMD.

يقرن طرف دخل الليف بمصدر الضوء. يقرن إشعاع خرج الليف الخاضع للاختبار بنظام الكشف.

تجرى التعديلات الملائمة على الضوء أحادي اللون أو محلل الطيف البصري أو الليزر القابل للتوليف، ثم يحقن كل طول لموجة الاختبار λ بدوره في الليف. ويعتمد اختيار أطوال الموجات على مدى المسح المعين لطول الموجة وكذلك على طريقة التحليل (انظر الفقرتان 1.4.4.1.5 و2.4.4.1.5).

تسجل إشارة الخرج المطابقة لطول كل موجة. وتجرى هذه العملية بدون تغيير ظروف الإطلاق والكشف. تسمى القدرة المستقبلة $P_A(\lambda)$، حيث تشير A إلى تواجد المحلل.

يزال المحلل من الحزمة ويكرر مسح الضوء أحادي اللون. تسمى هذه القدرة المستقبلة $P_{TOT}(\lambda)$. ويمكن استعمال هذه القدرة الأخيرة لإزالة الاعتماد الطيفي لمكونات نظام القياس وخسارة ليف الاختبار. تكون نسبة المخططات النمطية كما يلي:

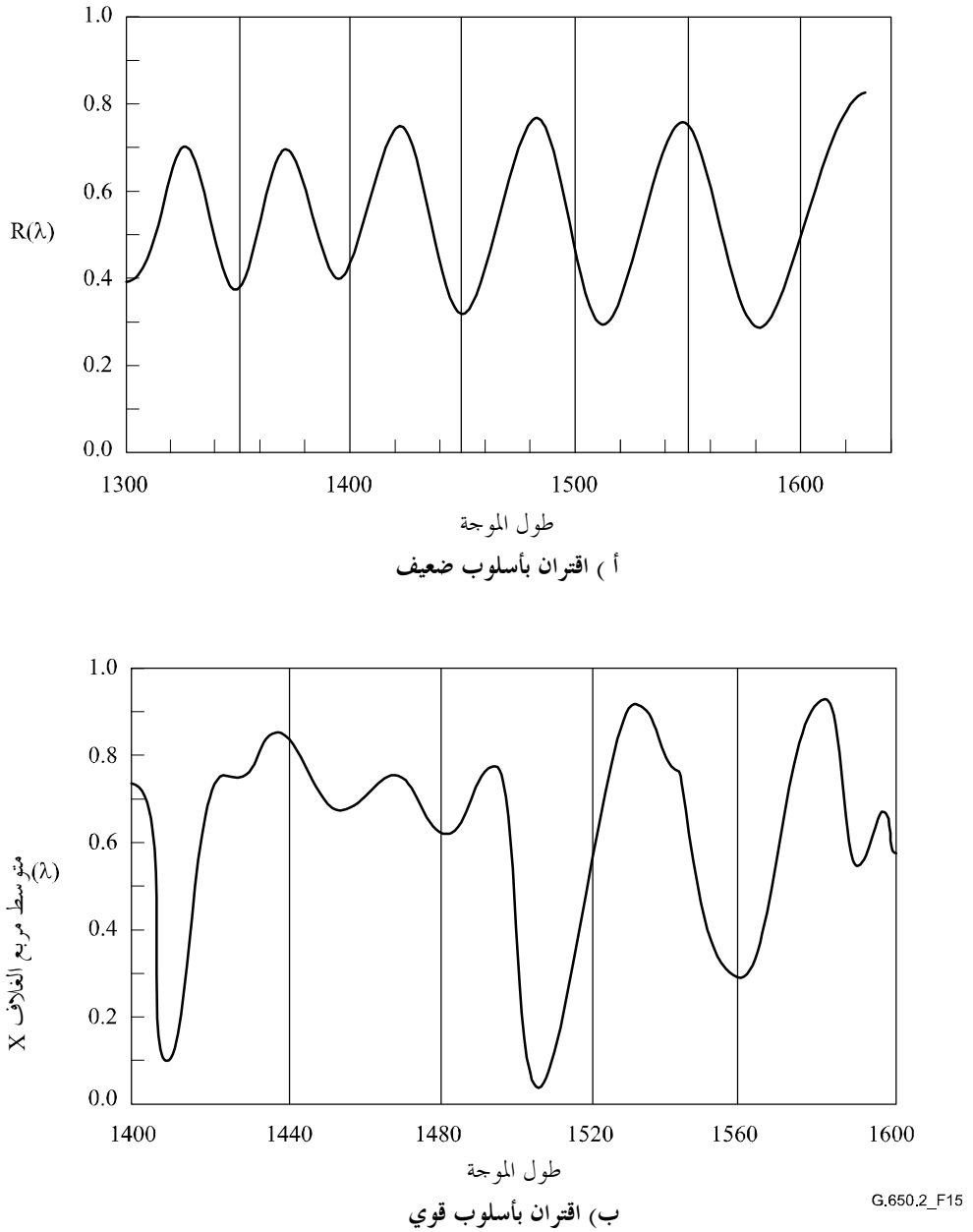
$$R(\lambda) = \frac{P_A(\lambda)}{P_{TOT}(\lambda)} \qquad (23\text{-}5)$$

كما هو مبيَّن في الشكل 15.

ويتمثل الإجراء البديل في ترك المحلل في مكانه، لكن مع تدويره 90 درجة بالنسبة إلى الوجهة المستعملة أعلاه. وتسمى القدرة المستقبلة في هذه الحالة $P_{ROT}(\lambda)$، أو:

$$R(\lambda) = \frac{P_A(\lambda)}{P_A(\lambda) + P_{ROT}(\lambda)} \qquad (24\text{-}5)$$

إذا استعمل مقياس الاستقطاب كعنصر للكشف، تقاس معلمات ستوكس المعايرة مقابل طول الموجة. وتعتبر الوظائف الطيفية الثلاث مستقلة عن القدرة المستقبلة وتحلل بنفس الطرائق المطبقة على $R(\lambda)$ (انظر الفقرتان 1.4.4.1.5 و2.4.4.1.5). وتقود كل معلمة ستوكس المعايرة إلى قيمة $<\Delta\tau>$.



الشكل G.650.2/15 – المعطيات النمطية الناتجة عن قياس التشتت PMD

4.4.1.5 الحسابات وتفسير النتائج

تستعمل إحدى الطريقتين التاليتين (الفقرتان 1.4.4.1.5 و2.4.4.1.5) لحساب التشتت PMD من معطيات القياس.

1.4.4.1.5 حساب القيم القصوى

1.1.4.4.1.5 معامل التشتت PMD

ينبغي الحصول على قيمة R(λ) خلال فترات فاصلة لطول الموجة بمباعدة متساوية. وتكون E هي عدد القيم القصوى ضمن النافذة $\lambda_1 < \lambda < \lambda_2$. ويجوز اختيار λ_1 وλ_2، على التبادل، للتزامن مع القيم القصوى، وتكون E عندئذ هي عدد القيم القصوى (بما في ذلك القيم عند λ_1 وλ_2) ناقص 1.

$$< \Delta\tau >= \frac{k\,E\,\lambda_1\lambda_2}{2\,(\lambda_2 - \lambda_1)c} \qquad (25\text{-}5)$$

حيث c هي سرعة الضوء في الفراغ، وk عامل اقتران الأسلوب يساوي 1,5 في غيبة اقتران الأسلوب (نظام المعادلة 3-4) و0,82 في حد اقتران بأسلوب قوي (نظام المعادلة 3-5).

إذا استُعمل مقياس الاستقطاب كعنصر للكشف، يؤخذ متوسط القيم المستمدة من الإجابات الثلاث المعايرة لمعلمة ستوكس كقيمة $<\Delta\tau>$ النهائية. وتفسَّر القيمة الناتجة على أنها متوسط فوق مدى أطوال الموجة $\lambda_1 < \lambda < \lambda_2$.

2.1.4.4.1.5 الدقة

يمكن الحصول على أفضل دقة عن طريق توسيع $(\lambda_1 - \lambda_2)$ بما يكفي لضمان أن $E << 1$. وهذا الأمر مهم بوجه خاص في حالة وجود اقتران بأسلوب قوي (الشكل 15 ب)) وأقل من ذلك (الشكل 15 أ)). وتكون قيمة E في المدى من 7 إلى 40 نمطية. وعندما تكون E في الطرف المنخفض لهذا المدى، ترتفع النسبة المئوية لعدم التيقن في E وفي التشتت PMD. وفي الطرف العلوي للمدى، يمكن أن يترتب على التوسع المفيد عدم تسوية الذروات المجاورة.

والحل الأمثل هو مركزة نافذة المسح على طول موجة الليف المستعملة، وتوسع النافذة بما يكفي لضمان أن E تكون أكبر من 10 تقريباً لأقصى قيمة لتشتت PMD (حيث يكون الاجتياز/الفشل بمثابة استنتاج).

3.1.4.4.1.5 تعرف هوية الذروة

يمكن أن تتزايد صعوبة تعرف هوية القيم القصوى في $R(\lambda)$ في وجود ضوضاء و/أو اقتران بأسلوب قوي. يلاحظ ذلك في المثال الوارد في الشكل 15 ب). وتعتبر خوارزمية تمثل الخصائص التالية مفيدة في تعرف هوية القيم القصوى:

1) يواءم متعدد الحدود على عدة نقاط مجاورة $R(\lambda)$ لتوفير منحنى مصقول؛

2) تعرف القيمة القصوى باعتبارها نقطة يتغير عندها رمز المشتق مقارنة بطول موجة هذا المنحنى المصقول.

ويمكن تحسين خوارزمية تعرف هوية الذروة عند الضرورة.

4.1.4.4.1.5 الاستبانة الطيفية

تستوفي الاستبانة الطيفية $\Delta\lambda$ الشرط التالي، لضمان تسوية جميع الخصائص في الطيف البصري بطريقة ملائمة:

$$\Delta\lambda / \lambda < (8\nu\Delta\tau)^{-1} \qquad (26\text{-}5)$$

حيث ν هي التردد البصري، و$\Delta\lambda$ عرض طيفي مفيد أو قد درجة طول الموجة، أيهما أكبر. وبالنسبة لقيمة λ المجاورة للقيمة 1550 nm، تخفض المعادلة 5-26 حتى تصبح قيمة $\Delta\lambda$ (nm) أقل من القيمة المعكوسة $\Delta\tau$(ps).

2.4.4.1.5 تحليل فوريه

1.2.4.4.1.5 نظرة شاملة

يعبَّر عن تحليل فوريه $R(\lambda)$ في هذه الطريقة عادة في ميدان التردد البصري، ν، ويستعمل في اشتقاق PMD. يحول تحويل فوريه هذه المعطيات لميدان التردد البصري إلى الميدان الزمني. ويؤدي تحويل فوريه إلى معلومات مباشرة حول توزيع أوقات وصول الضوء $\delta\tau$. وتعالج هذه المعطيات بعد ذلك وفقاً للوصف الوارد أدناه لاشتقاق التشتت PMD المتوقع، $<\Delta\tau>$، بالنسبة لليف الخاضع للاختبار. وتطبق هذه الطريقة على الألياف ذات أسلوب الاقتران القوي أو الضعيف. (يرجى الإحالة إلى الفقرتين 4.2.4.4.1.5 و5.2.4.4.1.5 على التوالي).

2.2.4.4.1.5 المعالجة المسبقة للمعطيات وتحويل فوريه

يتطلب تحويل فوريه عادة فترات زمنية متساوية في التردد البصري، لاستعمال هذه الطريقة، بحيث تجمع معطيات $R(\lambda)$ (وفقاً للوصف الوارد في 3.4.1.5) عند قيم λ لتكون فترات زمنية متساوية في ميدان التردد البصري. وينطوي الحل الآخر البديل، على مواءمة المعطيات المأخوذة على فترات زمنية λ متساوية (باستعمال نسق حزة مكعبة مثلاً) ويستكمل التركيب لتوليد

هذه النقاط، أو تستعمل تقنيات تقدير طيفي أكثر تطوراً. وفي كل حالة، تحسب النسبة R(λ) عند كل قيمة λ مستعملة في المعادلتين 5-23 و5-24 حسب الاقتضاء.

يمكن إجراء الحشو صفر أو استكمال المعطيات وإزالة السوية DC على معطيات النسبة R(λ). ويمكن استعمال نوفذة المعطيات كخطوة مسبقة قبل تحويل فورييه. ويجرى تحويل فورييه لإعطاء توزيع معطيات الاتساع P(δτ) لكل قيمة δτ.

3.2.4.4.1.5 مواءمة معطيات التحويل

تكون معطيات التحويل فورييه عند القيمة صفر δτ قليلة الدلالة، حيث أنه ما لم تزال بعناية، يمكن للمكونات DC في R(λ) أن تنجم جزئياً عن خسارة إدراج المحلل مثلاً. وعندما لا تسحب السوية المستمرة DC، تمرر بتفريعة قد تصل إلى نقطتين من المعطيات (لا تُستعمل) عموماً، في أي حسابات أخرى. ويعرَّف المتغير، J، بحيث تكون قيمة "أول حزمة صالحة" فوق الصفر δτ المدرج في الحسابات المطابقة عند J = 0.

تقارن قيمة P(δτ) بسوية العتبة T_1، المثبتة عادة على 200% من متوسط الجذر التربيعي لسوية ضوضاء نظام الكشف، لإزالة ضوضاء القياس من الحسابات اللاحقة. ومن الضروري الآن تحديد ما إذا كان اقتران أسلوب الليف قوياً أم ضعيفاً.

وإذا تبين أن النقاط الصالحة X للقيمة P(δτ) جميعها أدنى من T_1، يشير ذلك إلى أنه يجب أن يكون للقيمة P(δτ) خصائص نتوء كامنة للألياف ذات الاقتران الضعيف. وتكون قيمة X هي 3، إلا في حالة استعمال الحشو صفر في تحليل فورييه. وفي هذه الحالة، يمكن تحديد قيمة X من 3 × (عدد نقاط المعطيات الأصلية)/(إجمالي طول الصفيف بعد الحشو صفر). ويستعمل البند 4.2.4.4.1.5 لحساب التشتت PMD. وإذا لم يكن الأمر كذلك، تحسب قيمة التشتت PMD باستعمال البندين 5.2.4.4.1.5 أو 6.2.4.4.1.5.

4.2.4.4.1.5 حساب التشتت PMD للألياف باقتران الأسلوب الضعيف

بالنسبة لليف مقترن بأسلوب ضعيف (أي ليف عالي الانكسار المزدوج) أو مكون بانكسار، تشبه R(λ) موجة جيبية مشكلة (الشكل 15 أ)). يعطى تحويل فورييه خرج P(δτ) يتضمن نتوء منفصل عند موقع مطابق لوقت وصول النبضة النسبي δτ، وتكون قيمة <Δτ> للتشتت PMD هي مركزه.

لتعريف قيمة مركز النتوء <Δτ>، تستعمل قيم النقاط P(δτ) التي تتجاوز السوية الثانية للعتبة المحددة مسبقاً T_2، الموضوعة عادة عند 200% من متوسط الجذر التربيعي لسوية ضوضاء نظام الكشف، في المعادلة التالية:

$$< \Delta\tau >= \frac{\sum_{e=0}^{M'} [P_e(\delta\tau)\delta\tau_e]}{\sum_{e=0}^{M'} [P_e(\delta\tau)]} \qquad (27\text{-}5)$$

حيث M' + 1 هي عدد نقاط المعطيات P الذي يشكل جزءاً من النقطة التي تتجاوز T_2. تكون قيمة <Δτ> في المعادلة (5-15) عادة بوحدات بيكوثانية. ويمكن حساب معامل التشتت PMD بواسطة المعادلة (3-4) إذا كان الجهاز الخاضع للاختبار ليفاً طوله L. وإذا كتشف نتوء (أي M' = 0)، عندئذ يكون التشتت PMD صفر. ويمكن الإفادة بمعلمات أخرى مثل اتساع متوسط الجذر التربيعي للنتوء و/أو قيمة ذروة النتوء.

وإذا كان الجهاز الخاضع للاختبار يشتمل على عنصر واحد أو أكثر بانكسار مزدوج، يولد أكثر من نتوء واحد. ويتم الحصول على القيمة $2^{(n-1)}$، بالنسبة لعدد n من الألياف/الأجهزة المتسلسلة.

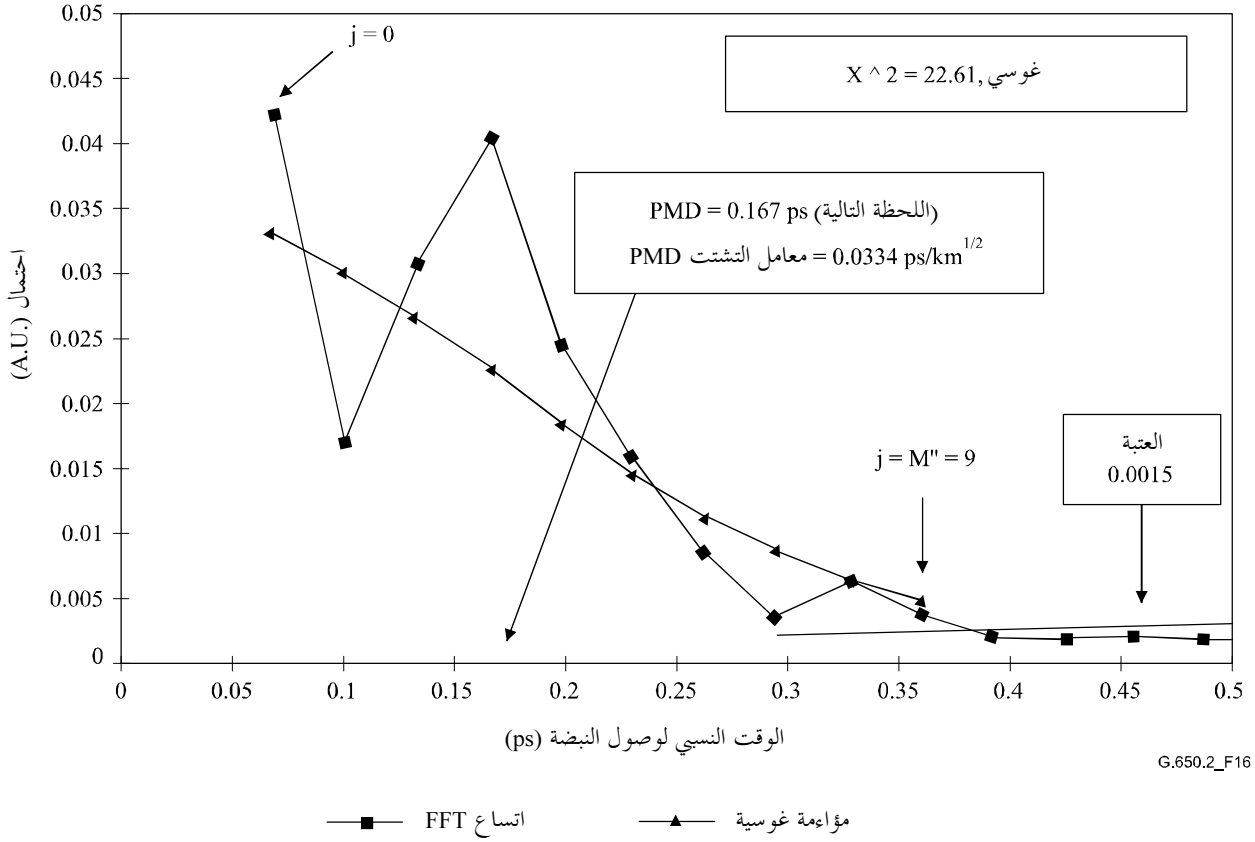
5.2.4.4.1.5 حساب التشتت PMD للألياف باقتران الأسلوب القوي

تصبح القيمة R(λ) في حالة الاقتران بأسلوب قوي شكلاً معقداً للموجة يماثل ما ورد في الشكل 15 ب)، وتستند الخصائص الدقيقة على الإحصاءات الفعلية لعملية الاقتران داخل الليف/الكبل. وتصبح معطيات تحويل فورييه توزيعاً P(δτ) يمثل الارتباط الذاتي لتوزيع الاحتمال في زمن وصول نبض الضوء δτ في الليف.

يحدد العد بدءاً بالقيمة $j = 0$ أول نقطة P تتجاوز T_1، يعقبها نقاط معطيات X على الأقل تكون أدنى من T_1. وتمثل هذه النقطة آخر نقطة ذات دلالة (أي في "نهاية") التوزيع $P(\delta\tau)$ بالنسبة لليف باقتران بأسلوب قوي، لا يتأثر كثيراً بقياس الضوضاء. ويشار إلى قيمة $\delta\tau$ في هذه النقطة بالقيمة $\delta\tau_{last}$، ويشار إلى قيمة j عند $\delta\tau_{last}$ بالقيمة "M. ويكون هذا الليف باقتران بأسلوب قوي. ويعرف الجذر التربيعي للحظة الثانية بالقيمة σ_R، القيمة ($<\Delta\tau>$) للتشتت PMD لهذا الليف كما يلي:

$$< \Delta\tau >= \sigma_R = \left\{ \frac{\sum_{j=0}^{M''} \left[P_j(\delta\tau) \delta\tau_j^2 \right]}{\sum_{j=0}^{M''} \left[P_j(\delta\tau) \right]} \right\}^{1/2} \quad (28\text{-}5)$$

ترد قيمة $<\Delta\tau>$ الواردة في المعادلة 5-28 بوحدات بيكوثانية. ويبين في الشكل 16 خرج تحويل فوريه المستمد من ليف طوله 25 km باقتران بأسلوب قوي.



الشكل G.650.2/16 – التشتت PMD باستعمال تحليل فوريه

6.2.4.4.1.5 حساب التشتت PMD لأنظمة الليف باقتران مختلط

قد تكون هناك حالات يتسلل فيها الليف/المكونات باقتران ضعيف والليف (الألياف) باقتران قوي لتشكيل النظام الخاضع للاختبار. وفي هذه الحالة، ينبغي تحديد المركز (البند 4.2.4.4.1.5) واشتقاق اللحظة الثانية (البند 5.2.4.4.1.5). وينبغي ملاحظة أنه لا يمكن تحديد النتوءات $P(\delta\tau)$ إلا بعد تجاوز القيمة $\delta\tau_{last}$ المحسوبة.

7.2.4.4.1.5 المدى الطيفي

يجب استعمال مدى طيفي كاف بالنسبة للألياف باقتران قوي لتكوين (متوسط) المجموعة الطيفية بدقة كافية. ويمكن تقليل عدم التيقن الإحصائي إلى أدنى حد ممكن باستعمال أوسع مدى طيفي ممكن (أي 200 nm على الأقل). ويجب تحديد الدقة

المطلوبة وبالتالي المدى الطيفي قبل القياس. ويحد طول موجة قطع الليف (1270 nm أو أدنى من ذلك) أقصى مدى قابل للاستعمال عند الطرف (λ_1) القصير، وبواسطة خفض حساسية الكاشف عند الطرف المرتفع (λ_2) (أي 1700 nm).

بالإضافة إلى ذلك، قد تؤدي قيم $\delta\tau$ المنخفضة للغاية إلى فترات طويلة للغاية في $R(\lambda)$، ويجب أن يغطي المدى الطيفي من λ_1 إلى λ_2 "دورتين" كاملتين على الأقل. ويعرف المدى الطيفي المغطى أصغر قيمة $\delta\tau$، يمكن التوصل إليها في $P(\delta\tau)$، $\delta\tau_{min}$ على النحو التالي:

$$\delta\tau_{min} = \frac{2\lambda_1\lambda_2}{(\lambda_2 - \lambda_1)c} \qquad (29\text{-}5)$$

حيث يدخل العامل 2 للسماح بتجاهل نقطتين من المعطيات في P عند الصفر والمجاور للصفر (انظر البند 3.2.4.4.1.5)، تكون قيمة $\delta\tau_{min}$ = 0,033 ps، مثلاً، بالنسبة للقيمتين λ_1 = 1270 nm وλ_2 = 1700 nm.

يمكن تخفيف اشتراط المتوسط الطيفي المذكور أعلاه بالنسبة للألياف مرتفعة التشتت PMD ذات الاقتران الضعيف وبنسبة معطيات $R(\lambda)$ تشابه النسبة الواردة في الشكل 15-a) ويخفض المدى الطيفي [أي $(\lambda_1 - \lambda_2) \sim$ 30 nm] للسماح بفحص التغيير في التشتت PMD مع طول الموجة.

8.2.4.4.1.5 قد درجة طول الموجة والاستبانة الطيفية

يجب لضمان تحديد جميع الخصائص (الترددات) في $R(\lambda)$ مع استبانة كافية، أن يكون قد درجة الضوء أحادي اللون، المعبَّر عنه في مجال التردد البصري ($\Delta\nu$) أقل من نصف "التردد المتذبذب" المقابل لأقصى قيمة $\delta\tau$ مقاسة (اشتراط نكويست).

$$\delta\tau_{max} = 1/(2\cdot\Delta\nu) \qquad (30\text{-}5)$$

وإذا تبين بوضوح في تحويل فورييه وجود طاقة ذات دلالة قريباً من $\delta\tau_{max}$ (أي أن $R(\lambda)$ تبدو وكأنها "مستعارة")، ينبغي تخفيض قد الدرجات $\Delta\nu$ (إن أمكن) وتكرار القياس.

يساوي عرض خط طيف الضوء أحادي اللون (الاستبانة) المعبَّر عنه بوحدات التردد البصري أو يكون أصغر من قيمة $\Delta\nu$ أو أقل منها (مما يقابل أكبر قيمة $\delta\tau$ خاضعة للقياس).

يكون عرض خط الضوء أحادي اللون 3 nm عند 1550 nm ($\Delta\nu$ = 374 GHz) نمطياً بالنسبة للقيمة $\delta\tau_{max}$ = 1,34 ps.

3.4.4.1.5 تحليل فورييه بجيب التمام

يقوم هذا التحليل على ملاحظة واقع أن تحليل فورييه بجيب التمام للطيف المنبعث من المحلل هو مخطط هدب مخطط التداخل. والفرق بين مخططات الهدب الناتجة عن المحلل الموضوع بين إنشائين متعامدين هو دالة الارتباط المتبادل. وإذا أدرج طيف غير محدود في المحلل، يكون عرض دالة الارتباط الذاتي صفر. وفي الممارسة، يعمل طيف المصدر المجدد في مجال الترددات البصرية (عرض خط محدد) بوصفه دالة نوفذة تنتج عرض دالة ارتباط ذاتي غير صفرية في مجال الزمن.

يشير التحليل التربيعي لدالتي الارتباط المتبادل والارتباط الذاتي المستمد من إجراء تحليل GINTY في البند 1.3.5 إلى أن الفرق بين العروض RMS التربيعية لهذه الدلالات تتناسب مع مربع زمن المهلة DGD التربيعي المتزن طيفياً (في القدرة المربعة) لقيم مهلة DGD (انظر المعادلة 5-22).

وتتوقف النتيجة على الشكل الطيفي مما يعني المراعاة التامة لتفاصيل دالة النوفذة. كما أن ذلك مستقل عن درجة اقتران الأسلوب، مما يعني عدم ضرورة إجراء أية تغييرات في الخوارزمية لمعالجة مختلف الأنظمة.

ويحد العرض الطيفي وزيادة التردد البصري المقاس من هذا الناتج. ومع تزايد التشتت PMD، يجب تخفيض زيادة التردد. وقد يكون أكثر عملياً، إلى حد ما، استعمال طريقة قياس التداخل (GINTY).

ويتناول هذا التحليل قياس التشتت PMD_{RMS}. وإذا كان اقتران الأسلوب عشوائي، يمكن تحويل الناتج إلى تشتت PMD_{AVG} بواسطة المعادلة (3-3).

1.3.4.4.1.5 نظرة شاملة

قياس القدرة الصادرة عن المحلل الموضوع عند إنشائين متعامدين مطلوب. تعدَّل النسبة R المرتبطة بالمعادلة 5-24 على النحو التالي:

$$R(\nu)=\frac{P_A(\nu)-P_B(\nu)}{P_A(\nu)+P_B(\nu)} \qquad (31\text{-}5)$$

حيث $\nu=c/\lambda$ هو التردد البصري (THz).

وإذا استُعمل مقياس استقطاب، تكافئ العناصر الثلاثة لمتجه ستوكس للخرج المعياري النسب الثلاثة المعايرة المستقلة، تلك الممثلة في المعادلة (5-31). وكل مكون لمتجه ستوكس هو الفرق في القدرة بين إنشائين لمحلل متعامد. والعناصر الثلاثة مختلفة حيث إن إنشاءات القاعدة متعامدة أيضاً.

تضرب المعطيات في دالة نوفذة $W(\nu)$، التي تتجه إلى صفر يرفق صوب الحواف. توضع $R(\nu)W(\nu)$ أو $W(\nu)$ على السواء في شكل مصفوفة وتدرج القيم صفر في شكل حشو عند قواعد الترددات غير المقاسة. وبتطبيق تحويل فوريه السريع بجيب التمام (FCFT) على كل مصفوفة، يمكن الحصول على أغلفة الهدب في الميدان الزمني r(t)w(t) وw(t). ويسمح تربيعها بالحصول على أغلفة مربعة للارتباط المتبادل والارتباط الذاتي E_x^2 و E_0^2، على التوالي. وعندما تتوفر عدة دلالات للنسبة (N)، تأتي من تركيبات مختلفة من إنشاءات مقطاب الدخل (أو من عناصر متجهات ستوكس للخرج) باستعمال تخليط دخل/خرج SOP مثلاً، يمكن تكوين أغلفة مربعة متوسطة على النحو التالي:

$$\overline{E}_x^2=\frac{1}{N}\sum_i E_{xi}^2 \qquad \overline{E}_0^2=\frac{1}{N}\sum_i E_{0i}^2 \qquad (32\text{-}5)$$

وباستعمال طريقة الحساب الواردة في التذييل 2.I، يمكن حساب عروض RMS، σ_x وσ_0، للدالتين. وتحسب قيمة التشتت PMD_{RMS} على النحو التالي:

$$PMD_{RMS}=\left[\frac{3}{2}\left(\sigma_x^2-\sigma_0^2\right)\right]^{1/2} \qquad (33\text{-}5)$$

وهي مرتبطة بالقيمة التربيعية المتوسطة للتشتت RMS (بواسطة القيمة المربعة للنافذة) الموزونة طيفياً.

$$\left\langle PMD_{RMS}\right\rangle=\frac{\int\Delta\tau^2(\nu)W^2(\nu)d\nu}{\int W^2(\nu)d\nu} \qquad (34\text{-}5)$$

وينطبق مؤثر القيمة المتوسطة على حالات دخل/خرج SOP العشوائي.

2.3.4.4.1.5 التفاصيل

يفسر هذا البند بعض التفاصيل المتعلقة بنافذة الترددات المقاسة، زيادة التردد $\Delta\nu$، وزحزحة التردد وتحويل FCFT. ويرد مثال لخوارزمية تحويل فوريه السريع بجيب التمام FCFT في مؤلف بعنوان *Numerical Recipes in C* صادر عن:
W. Press, W. Vettering, S. Teukolsky and B. Flannery, Cambridge University Press.

يجب أن تتوفر المعطيات لزيادات الترددات المنتظمة. ويجب أن يكون عدد نقاط المعطيات، بما في ذلك القيمة الصفرية للحشد، 2^k+1، على اعتبار أن k عدد صحيح.

إذا لم تكن الزيادات في التردد بين نقاط قياس المعطيات n_m منتظمة، يمكن جعلها تتطابق مع متعدد الحدود مثل حزة الاستكمال الداخلي. وتتواءم حزة مكعبة $n_m - 3$ بمقاطع منتظمة تمام مع جميع المعطيات وتسمح بالاستكمال الداخلي.

وبالنظر إلى أن المعطيات المقاسة تحدد بالقيم $\nu_{\min M}$ و$\nu_{\max M}$ وواقع أن التردد البصري الأدنى هو أعلى من صفر، يمكن استعمال تطبيق زحزحة التردد لتخفيض قد المصفوفة المعالجة. ويمكن انتقاء حدود الترددات المستعملة في حساب المصفوفة باختيار n على النحو التالي:

$$\nu_{\max}\frac{n-1}{n}=\nu_{\min}\le\nu_{\min M}\quad,\quad\nu_{\max M} \qquad (35\text{-}5)$$

، حيث n عدد صحيح موجب.

بالنسبة للترددات التي تقل عن التردد المقاس، تدرج القيم صفر.

وباتباع تحويل FCFT، ستتضمن المصفوفة مخطط الهدب في المجال الزمني بين الوقت صفر و $\Delta t2^k=t_{\max}$، حيث تنتج الزيادة الزمنية Δt بالمعادلة التالية:

$$\Delta t=\frac{n}{2\nu_{\max}}=\frac{1}{2(\nu_{\max}-\nu_{\min})} \qquad (36\text{-}5)$$

ومخطط الهدبة الناتج عن تقنية قياس التداخل يمتد ليشمل القيم الزمنية سواء الإيجابية أو السلبية. وتكافئ القيمة في زمن سلبي معين القيمة في زمن إيجابي. والدالة زوجية ومتناظرة حول القيمة صفر. ويمكن أن يؤدي ذلك إلى تبسيط حساب القيم RMS حيث إن الزمن صفر معروف.

وينبغي اختيار زحزحة التردد مع مراعاة أن حساب عرض القيمة RMS يتطلب بعض القيم في المجال الزمني التي تقل عن أدنى تشتت PMD_{RMS} يمكن قياسه.

ترتبط زيادة التردد $\Delta\nu$ أيضاً بعدد النقاط المعاينة، وبزحزحة التردد وأقصى PMD_{RMS} يتعين قياسه. وهو يرد بالمعادلة التالية، التي أشير فيها إلى التقييد:

$$\Delta\nu=\frac{\nu_{\max}-\nu_{\min}}{2^k}\le\frac{1}{24PMD_{RMS-\max}} \qquad (37\text{-}5)$$

ويتماشى التقييد في المعادلة 5-37 مع المعادلة 5-26. وينبغي أن يكون العرض الطيفي للمصدر المرشح مساوياً لنصف هذه القيمة. وعند إجراء المسح الفعلي بزيادات متساوية في طول الموجة، ينبغي أن تتماشى الزيادة في طول الموجة عند الطرف الأدنى للفاصل مع التقييد الوارد في المعادلة 5-37.

دالة النوفذة $W(\nu)$ يمكن أن تكون أي دالة تقنياً، بما في ذلك دالة تربيعية. ويتعين على الدالة المختارة أن تقلل إلى أدنى حد قيمة σ_0. وتميل الدالات التي تفعل ذلك إلى الاتجاه نحو صفر على الحواف بطريقة مستمرة، كذلك الشأن بالنسبة لمشتقاتها الأولية التي تتجه إلى الصفر على الحواف. وسيؤدي ذلك إلى تقليل الرنين إلى أدنى حد، الذي يمكن أن يزيد σ_0.

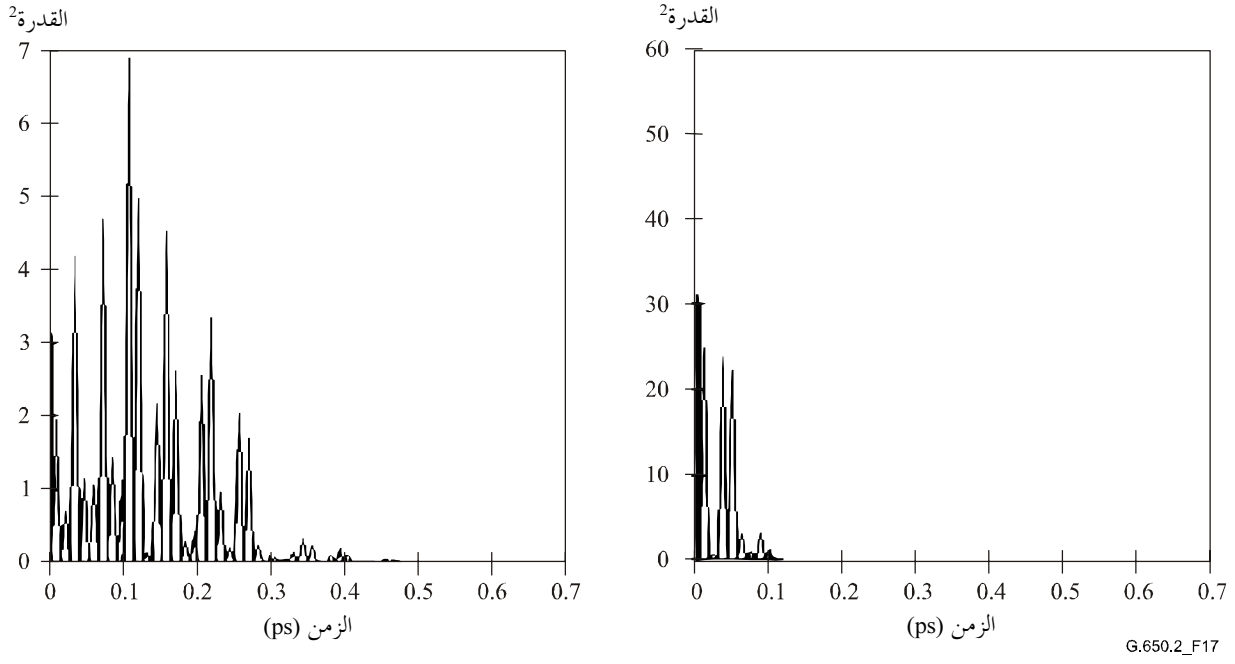
3.3.4.4.1.5 أمثلة

يرد في الجدول 1 جدول تفصيلي لحساب العينة. أدرجت فيه أطوال الموجات المحددة وk. وبالنسبة لكل زحزحة ممكنة للترددات n، تحسب المعلمات الأخرى. يحسب التشتت PMD_{min} باعتباره $3\Delta t$. والزحزحة الفعلية من حيث $\Delta\lambda$ عند حد طول الموجة الأدنى معروضة أيضاً. ومن الواضح أنه يوجد حل وسط وفقاً لمدى قيم تشتت PMD_{RMS} التي يتعين قياسها. وبشكل عام، كلما اتسع مدى طول الموجة وقلت زيادة التردد كلما كان ذلك أفضل.

الجدول G.650.2/1 – تحويل فوريه بجيب التمام

c	299792,5	nm/ps				
k	11					
npt	2048					
طول الموجة (nm)		التردد (THz)				
حد أقصى	1700	230,6096				
حد أدنى	1300	176,3485				
زحزحة التردد						
n	freqmincalc (THz)	del-t (ps)	delfreq (THz)	أدنى PMD (ps)	أقصى PMD (ps)	زيادة الموجة (nm)
1	0	0,002168	0,112602	0,006504	0,370034	0,635076
2	115,3048077	0,004336	0,225205	0,013009	0,185017	1,270772
3	153,7397436	0,006504	0,337807	0,019513	0,123345	1,90709
4	172,9572115	0,008673	0,450409	0,026018	0,092508	2,544031
5	184,4876923	0,010841	0,563012	0,032522	0,074007	3,181596
6	192,1746795	0,013009	0,675614	0,039027	0,061672	3,819785
7	197,6653846	0,015177	0,788216	0,045531	0,052862	4,458599
8	201,7834135	0,017345	0,900819	0,052036	0,046254	5,098039

توضح الأشكال التالية النتائج التي كان يمكن استنتاجها من ليف بتشتت قدره PMD_{RMS} = 0,2 ps. وتبيَّن في الشكل 17 الأغلفة الوسطى للارتباط المتبادل والارتباط الذاتي من مسح وحيد باستعمال دالة نوفذة غوسية مع انحراف معياري قدره 23 nm. والناتج هو محاكاة لليف باقتران بأسلوب عشوائي. وكانت النتيجة المقاسة لهذه المحاكاة هي 0,185 ps.



الشكل G.650.2/17 – دالة الارتباط المتبادل ودالة الارتباط الذاتي

5.4.1.5 تقديم النتائج

أ) تعرف هوية الليف و/أو الكبل المقاس.

ب) طول الاختبار.

ج) تشتت أسلوب الاستقطاب (بوحدات بيكوثانية عموماً). إذا كانت درجة اقتران الأسلوب معروفة، يمكن أن يرد معامل التشتت (PMD) بوحدات PS/km (اقتران أسلوب جدير بالإهمال) أو $ps/km^{1/2}$ (اقتران أسلوب قوي).

د) مدى طول الموجة التي أجري عليها القياس، وقدّ طول الموجة أو التردد.

ه) التشكيل المادي لعينة الليف أو الكبل.

و) نمط اقتران الأسلوب مثلاً، تحديدي أو شبه عشوائي أو عشوائي.

ز) عند الحصول على متوسط التشتت PMD من القياسات المتكررة للعينة، يسجل عدد القياسات التي أجريت.

2.5 طرائق اختبار النعوت غير الخطية

(قيد الدراسة).

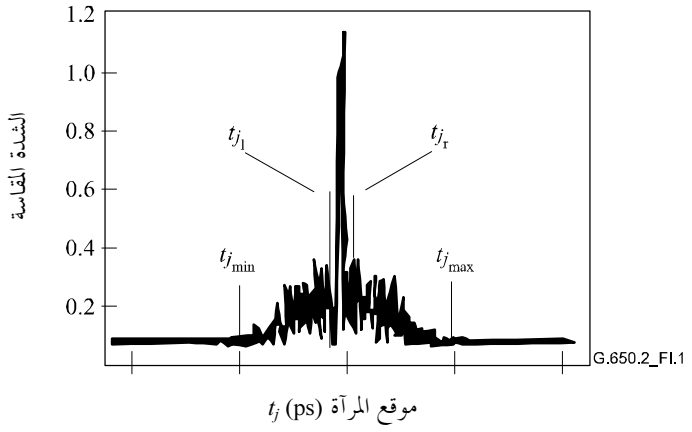
التذييل I

تحديد مهلة التشتت PMD من مخطط التداخل

يقدم هذا التذييل طريقتان لتحديد عرض RMS من أغلفة الهدب. تستعمل الطريقتان أساساً لطريقة قياس التداخل لقياس تشتت PMD. ويتناول البند 1.I غلاف بذروة ارتباط ذاتي مناسب لإجراء تحليل TINTY. ويتناول البند 2.I أغلفة بدون هذه الذروة وهي مناسبة لإجراء تحليل GINTY.

1.I حساب القيمة التربيعية المتوسطة RMS في إطار إجراء التحليل TINTY

يبين الشكل 1.I غلاف هدبة بذورة ارتباط ذاتي مركزية.



الشكل G.650.2/1.I – معلمات تحليل مخطط التداخل

تحدد القيمة $\tilde{I}_j$ الشدة المقاسة لغلاف هدبة عند مواقع متزايدة t_j ، وj = 1...N، مع $[t_j]$ = ps.

الخطوة 1 – حساب الشدة $\tilde{I}_0$ واتساع الضوضاء *Na*

التعريف: N_5 = دائري (5 N/100)

$$\tilde{I}_0 = \frac{\sum_{j=1}^{N_5} \left(\tilde{I}_j + \tilde{I}_{N-j} \right)}{2N_5} \tag{1-I}$$

$$X_2 = \frac{\sum_{j=1}^{N_5} \left(\tilde{I}_j^2 + \tilde{I}_{N-j}^2 \right)}{2N_5} \tag{2-I}$$

$$Na = \sqrt{X_2 - I_0^2} \tag{3-I}$$

الخطوة 2 – تعريف الشدة المزحزحة I_j

$$I_j \coloneqq \tilde{I}_j - \tilde{I}_0 \text{ if } \tilde{I}_j - \tilde{I}_0 > 4Na \tag{4-I}$$

$$I_j \coloneqq 0 \quad if\ \tilde{I}_j - \tilde{I}_0 \leq 4Na \tag{5-I}$$

الخطوة 3 – حساب المركز *C* لمخطط التداخل

$$C = \frac{\sum_{j=1}^{N} t_j I_j}{\sum_{j=1}^{N} I_j} \tag{6-I}$$

الخطوة 4 – زحزحة ذروة الارتباط الذاتي المركزية

التعريف: j_l = أكبر دليل j بحيث $C - t_j > \tau_c$ (7-I)

j_r = أصغر دليل j بحيث $t_j - C > \tau_c$ (8-I)

حيث τ_c هي زمن تماسك المصدر.

الملاحظة 1 – يطبق التعريف التالي بالنسبة إلى مخططات التداخل متقاطعة الارتباط:

$$j_r \coloneqq j_l + 1 \tag{9-I}$$

الخطوة 5 – حساب اللحظة الثانية *S* لمخطط التداخل

$$S = \frac{1}{2} \left\{ \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{j_l} (t_j - C)^2 I_j}{\sum_{j=1}^{j_l} I_j}} + \sqrt{\frac{\sum_{j=j_r}^{N} (t_j - C)^2 I_j}{\sum_{j=j_r}^{N} I_j}} \right\} \tag{10-I}$$

الخطوة 6 – بتر مخطط التداخل

تضبط قيمة $j_{\min}$ على أكبر دليل j بحيث $C - t_j > 2S$ (11-I)

تضبط قيمة $j_{\max}$ على أصغر دليل j بحيث $t_j - C > 2S$ (12-I)

الخطوة 7 – حساب اللحظة الثانية σ_ε لمخطط التداخل المبتور

$$\sigma_\varepsilon = \frac{1}{2}\left\{\sqrt{\frac{\sum_{j=j_{\min}}^{j_l}(t_j - C)^2 I_j}{\sum_{j=j_{\min}}^{j_l} I_j}} + \sqrt{\frac{\sum_{j=j_r}^{j_{\max}}(t_j - C)^2 I_j}{\sum_{j=j_r}^{j_{\max}} I_j}}\right\} \quad (13\text{-I})$$

الخطوة 8 – حساب قيمة σ للمعادلة الغوسية $e^{-\frac{(t-C)^2}{2\sigma^2}}$ كما يلي:

$$\sigma_\varepsilon = \frac{1}{2}\left\{\sqrt{\frac{\int_{t_{j_{\min}}}^{t_{j_l}}(t-C)^2 \, e^{-\frac{(t-C)^2}{2\sigma^2}} dt}{\int_{t_{j_{\min}}}^{t_{j_l}} e^{-\frac{(t-C)^2}{2\sigma^2}} dt}} + \sqrt{\frac{\int_{t_{j_r}}^{t_{j_{\max}}}(t-C)^2 \, e^{-\frac{(t-C)^2}{2\sigma^2}} dt}{\int_{t_{j_r}}^{t_{j_{\max}}} e^{-\frac{(t-C)^2}{2\sigma^2}} dt}}\right\} \quad (14\text{-I})$$

الخطوة 9 – تحديد التشتت $PMD_{RMS} <\Delta\tau^2>^{1/2}$

$$PMD_{RMS} = <\Delta\tau^2>^{1/2} = \sqrt{\frac{3}{4}}\sigma \quad (15\text{-I})$$

الملاحظة 2 – يمكن أن تكون المعادلة كما يلي $\frac{\sigma_\varepsilon}{\sigma} \approx \sqrt{\frac{3}{4}}$ بالنسبة لمخططات التداخل ذات القياس المناسب.

2.I حساب القيمة التربيعية المتوسطة RMS في إطار التحليل GINTY

تؤدي الخوارزمية التالية إلى عرض RMS قوي للأغلفة المركبة التربيعية للارتباط الذاتي والارتباط المتبادل على السواء، باستعمال الطريقة D (إجراء التحليل GINTY).

تكون الخوارزمية تكرارية. ولتكرار معين، تقسم مصفوفة المعطيات الكاملة إلى مجموعتين: الجزء المركزي، M، يشمل الإشارة والذيل T، الذي يشمل الضوضاء. ويؤدي كل تكرار إلى تعاريف مختلفة للمجموعتين. وتتقارب النتائج إما عندما تتوقف نتيجة عرض RMS المحسوبة عند التغير أو عندما تستقر المجموعات المعرَّفة. وبالنسبة لتكرار معين، يعين عدد نقاط المعطيات في كل مجموعة بما يلي N_M وN_T

تحدد القيمة $\tilde{I}_j$ الشدة المقاسة لغلاف عند مواقع متزايدة t_j (ps)، و(ps)، و$j = 1...N$.

والتعريف الأولي للزمرة T يطابق أول وآخر 5% من المصفوفة الكاملة.

الخطوة 1 – حساب الشدة صفر $\tilde{I}_0$

$$\tilde{I}_0 = \sum_{j \in T} \tilde{I}_j / N_T \quad (16\text{-I})$$

الخطوة 2 – تعريف الشدة المزحزحة I_j

$$I_j = \tilde{I}_j - \tilde{I}_0 \quad \text{all N} \quad (17\text{-I})$$

الخطوة 3 – حساب المركز C لمخطط التداخل

$$C = \frac{\sum_{j \in M} t_j I_j}{\sum_{j \in M} I_j} \tag{18-I}$$

الخطوة 4 – حساب عرض σ RMS للغلاف التربيعي

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{j \in M} (t_j - C)^2 I_j}{\sum_{j \in M} I_j} \tag{19-I}$$

الخطوة 5 – إعادة تعريف المجموعات

تعرَّف M باعتبارها مجموعة نقاط تكون فيها $C - 4\sigma \le t_j \le C + 4\sigma$.

تعرَّف T باعتبارها بقية النقاط.

الخطوة 6 – تكرر الخطوات من 1 إلى 5 إلى حين تقارب النتائج

$$\frac{\sigma_\varepsilon}{\sigma} \approx \sqrt{\frac{3}{4}}$$

التذييل II

النعوت غير الخطية

1.II الخلفية

تبدأ التفاعلات غير الخطية بين الإشارة ووسيط إرسال ليف السيليكا في الظهور عند تزايد قدرة الإشارة البصرية لتحقيق أطوال باعية أكبر بمعدلات بتات مرتفعة وبالتالي ظهر سلوك الليفي غير الخطي كأحد الاعتبارات الهامة، في الأنظمة عالية القدرة وفي الطرق الطويلة غير المسترجعة على السواء. وتتميز هذه العلاقات غير الخطية بشكل عام بآثار تشذير (تشذير بريليون (Brillouin) المصطنع وتشذير رامان (Raman) المصطنع) أو بآثار ترتبط بأثر كير، أي اعتماد الشدة على دليل الانكسار (تشكيل الطور الذاتي، وتشكيل الطور المتقاطع، وعدم استقرار التشكيل، وتشكيل سوليتون وخلط أربع موجات). وتؤثر معلمات متنوعة على شدة هذه الآثار غير الخطية، بما في ذلك خصائص تشتت الليف، ومنطقة الليف الفعالة، وعدد تباعدات القنوات في الأنظمة متعددة القنوات، والطول الكلي للأنظمة غير المسترجعة، ودرجة الاتساق الطولي لخصائص الليف، بالإضافة إلى شدة الإشارة وعرض خط المصدر.

2.II المنطقة الفعالة (A_{eff})

المنطقة الفعالة معلمة مرتبطة عن كثب بعدم خطية الليف البصري التي تؤثر على نوعية إرسال أنظمة الليف البصري، خاصة في الأنظمة طويلة المسافة المضخمة بصرياً.

تعرَّف المنطقة الفعالة A_{eff} على النحو التالي:

$$A_{eff} = \frac{2\pi\left[\int_0^\infty I(r) r dr\right]}{\int_0^\infty I(r)^2 r dr} \quad \text{(1-II)}$$

حيث $I(r)$ هي توزيع شدة المجال لأسلوب الليف الأساسي عند نصف القطر r. يجري إدراج المعادلة 1-II على كامل المنطقة المتقاطعة لليف. وعند إجراء التقريب الغوسي مثلاً نحصل على ما يلي:

$$I(r) = \exp\left(-2r^2 / W^2\right) \quad \text{(2-II)}$$

حيث 2w هي قطر مجال الأسلوب (MFD)، عندئذ يمكن إدراج المعادلة 1-II تحليلياً مما يؤدي إلى:

$$A_{eff} = \pi w^2 \quad \text{(3-II)}$$

والتقريب الغوسي يُعتبر دقيقاً بالنسبة لألياف التوصية G.652 [1] والتوصية G.654 [3] لألياف الدليل التدريجي بجوار القطع LP_{11}، ولكن بالنسبة لنفس الألياف بأطوال موجة أطول بكثير وكذلك في حالة ألياف التوصية G.653 [2] بزحزحة التشتت، لا يمكن تقدير A_{eff} بدقة باستعمال المعادلة (3-II).

وتوجد علاقة أكثر عمومية لكن تجريبية بين A_{eff} وw قيمتها[1]:

$$A_{eff} = k\pi w^2 \quad \text{(4-II)}$$

حيث k هي عامل التصحيح.

3.II عامل التصحيح k

أثناء إجراء الاختبار، تم قياس قطر مجال الأسلوب MFD بطريقة اختبار الفتحة المتغيرة. وكان من الممكن انطلاقاً من مخطط المجال البعيد (FFP) للقدرة البصرية للخرج P(r)، حساب مخطط المجال القريب (NFP) باستعمال تحويل هنكل (Hankel) العكسي. عندئذ يُطرح A_{eff} من (NFP) باستعمال المعادلة 1-II.

يتوقف عامل التصحيح k في المعادلة 4.II على طول الموجة وعلى معلمات الليف مثل مظاهر دليل الانكسار، وقطر مجال الأسلوب (MFD) وطول موجة التشتت صفر.

يورد الشكل (1-II) أمثلة لاعتماد طول الموجة المقاسة للقطر MFD وسطح A_{eff} لألياف التوصية G.652 والتوصية G.653 في مناطق طول الموجة التي تتراوح بين 1200-1600 nm. ويورد الشكل (2-II) أمثلة لاعتماد طول الموجة للقطر MFD والسطح A_{eff} وكذلك عامل التصحيح k بالنسبة لألياف التوصية G.652 وG.653 وG.654 في نفس منطقة طول الموجة.

ويوجز مدى عامل التصحيح k بالنسبة لهذه الأمثلة في الجدول (1.II).

وبالنسبة لتصميم الألياف التي يمكن تطويرها للتطبيقات البحرية البصرية وتطبيقات تعدد إرسال بتقاسم تقريبي (WDM). يمكن للعلاقة بين A_{eff} وw أن تتغير، وينبغي تحديدها باستعمال المعادلة 1.II.

يبين الشكل 3.II اعتماد طول الموجة A_{eff} بالنسبة لألياف التوصية G.653 (DSF) وألياف التوصية G.655 (NZ-DSF) في مناطق طول الموجة التي تتراوح بين 1520-1580 nm لتطبيقات WDM.

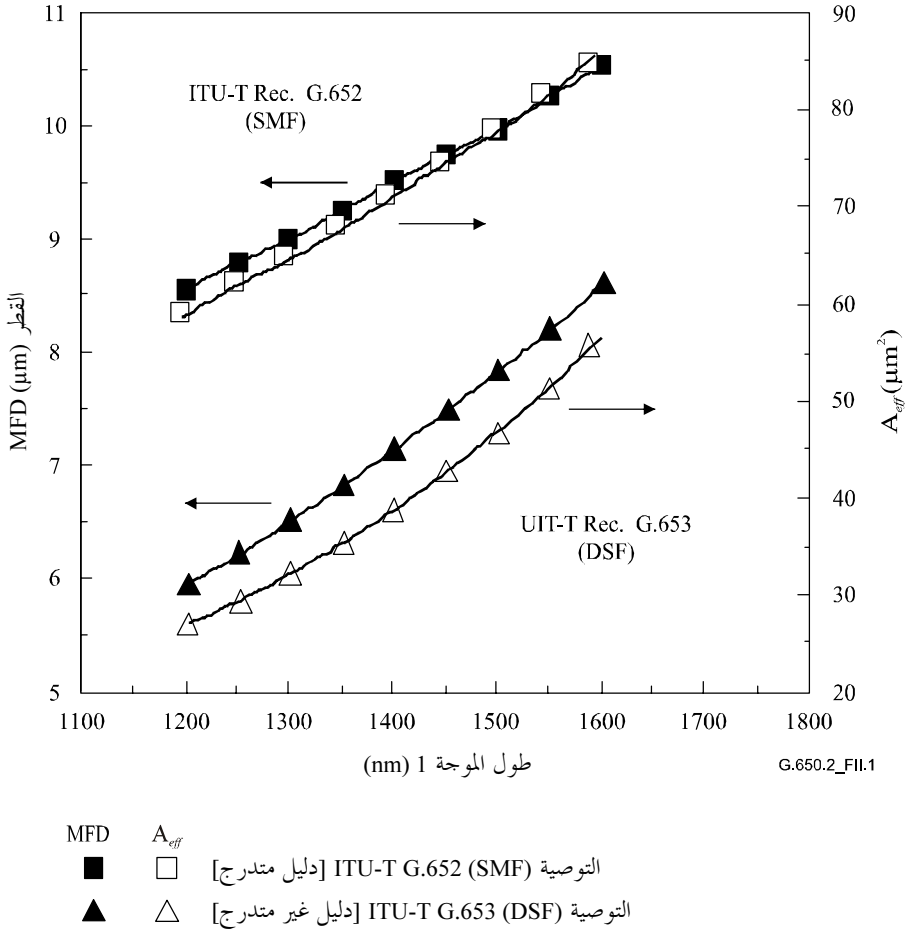
وتم التوصل إلى أن متوسط قيم k والانحراف المعياري يبلغ زهاء 0,005 $\pm$ 0,953 لألياف التوصية G.653 و0,070 $\pm$ 1,05 بالنسبة لألياف التوصية G.655.

---

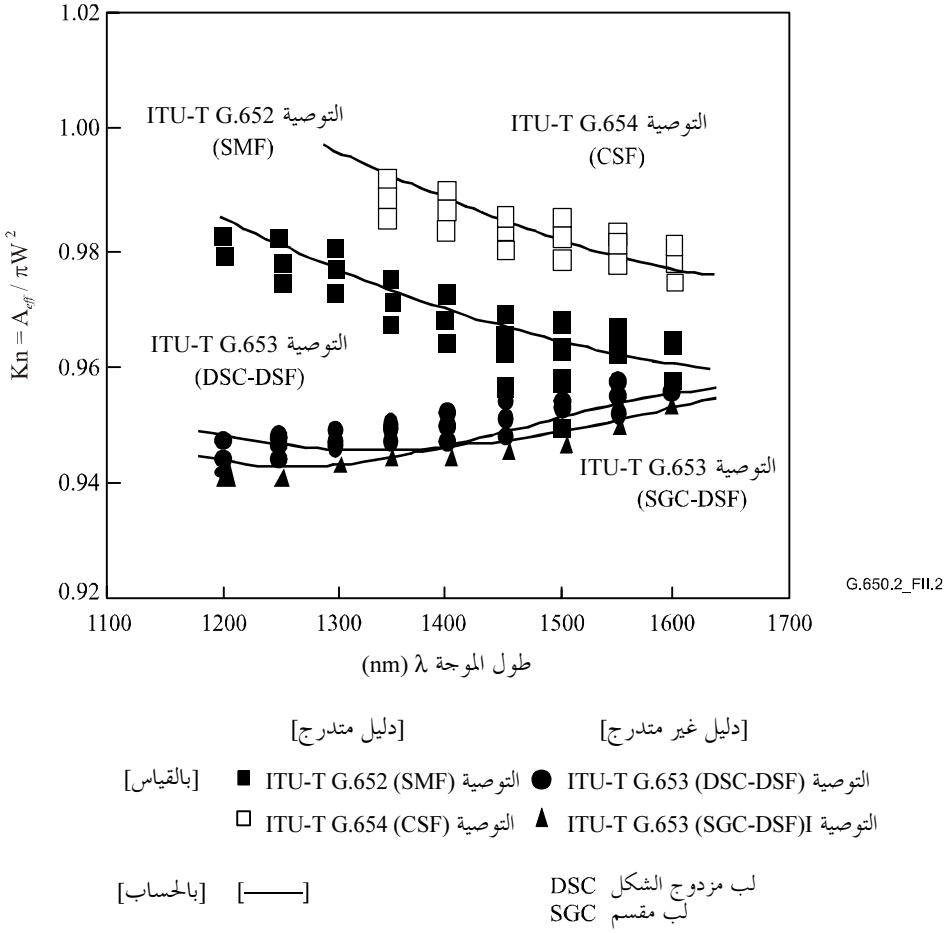
[1] NAMIHIRA (Y.): Relationship between non-linear effective area and mode field diameter for dispersion shifted fibres, *Electron. Lett.,* Vol. 30, No. 3, pp. 262-263, 1994.

الجدول G.650.2/1.II – ملخص عامل التصحيح k للمنطقة A_{eff} والقطر MFD (= W2)
لألياف التوصيات G.652 وG.653 وG.654 وفقاً للأمثلة الواردة في الشكل 2.II

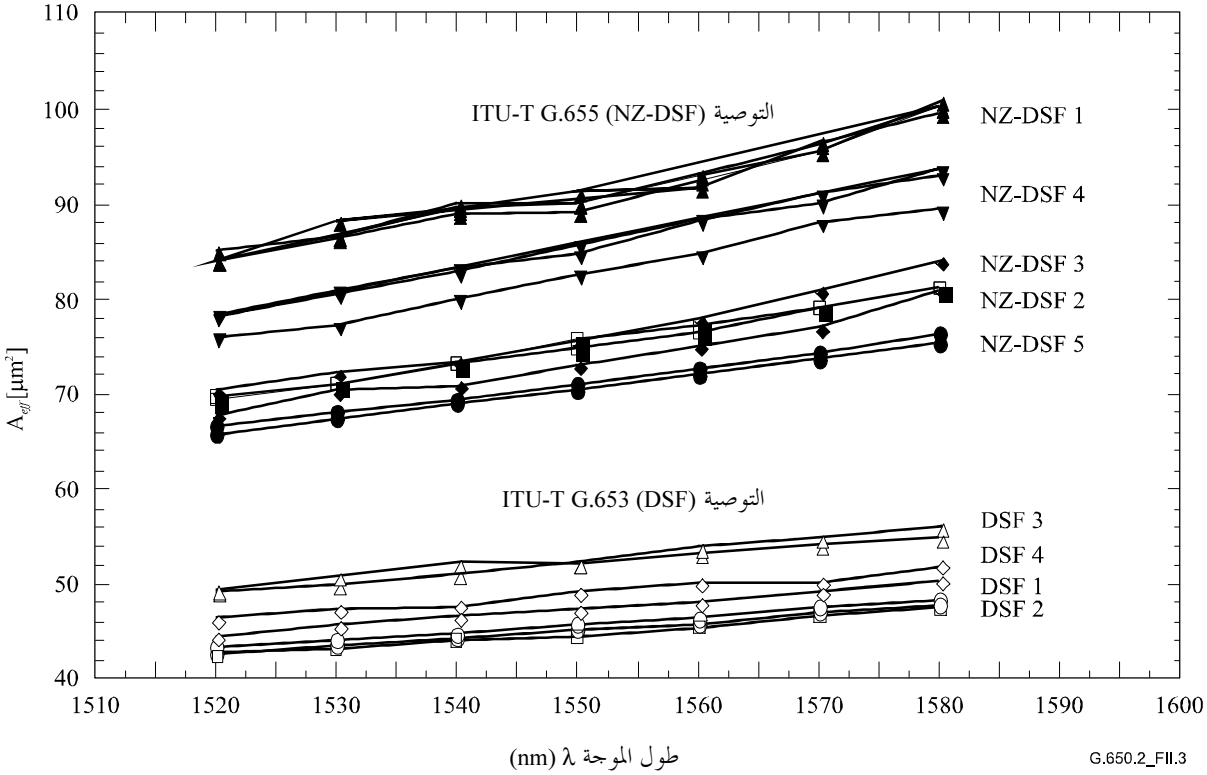
طول الموجة λ / أنماط الألياف	nm 1310 ~	nm 1550 ~
التوصية ITU-T G.652	0,980 ~ 0,970 (ملاحظة)	0,970 ~ 0,960
التوصية ITU-T G.654	...	0,985 ~ 0,975 (ملاحظة)
التوصية ITU-T G.653	0,950 ~ 0,940	0,960 ~ 0,950 (ملاحظة)
ملاحظة – منطقة طول الموجة المثلى		



الشكل G.650.2/1.II – مثال لقياس اعتماد A_{eff} وقطر مجال الأسلوب (= W2)
كدالة لطول الموجة لألياف التوصيتين G.652 وG.653



الشكل G.650.2/2.II – مثال لطول الموجة المحسوب والمقاس بالاعتماد على عامل التصحيح k لألياف التوصيات G.652 وG.653 وG.654



الشكل G.650.2/3.II – مثال لاعتماد λ المقاس وفقاً لطول الموجة A_{eff} لألياف التوصيتين G.653 وG.655

4.II المعامل غير الخطي ($n2/A_{eff}$)

يعتمد دليل انكسار الألياف البصرية، للمجالات ذات الشدة الخاصة، على الشدة البصرية داخل الألياف، ويعبر عنها بما يلي:

$$n = n_0 + n_2 I \qquad \text{(5-II)}$$

حيث n هي دليل الانكسار، وn_0 الجزء الخطي لدليل الانكسار، وn_2 دليل الانكسار غير الخطي وI هي الشدة البصرية داخل الألياف.

يعرف المعامل غير الخطي على أنه n_2/A_{eff}. ويؤدي هذا المعامل دوراً هاماً في تقييم انحطاط أداء النظام الناجم عن العلاقات غير الخطية عند استعمال أنظمة ذات كثافة مرتفعة للقدرة.

ويجري حالياً دراسة طرائق قياس المعامل غير الخطي.

5.II انتثار بريليون المستحث (SBS)

أبدي ارتياب بشأن عتبة انتثار بريليون المستحث المعرّفة في هذا البند بالنسبة لبعض تطبيقات الإرسال. وبدأ العمل في دراسة تعاريف بديلة ولكنه لم يُستكمل بعد. ومن المتوقع نشر تصويب يتضمن التعديلات على البند التالي.

1.5.II وصف الأثر

تنقل قدرة بصرية كبيرة، في نظام بتشكيل الشدة، من إشارة الانتشار الأمامي إلى إشارة الانتشار الخلفي عند تجاوز عتبة انتثار بريليون المستحث (SBS). وفي انتثار SBS، ينتثر ضوء الانتشار الأمامي من فونون سمعي. ويفرض تكييف الطور (أو المحافظة على الزخم) انتثار الضوء تفضيلياً في الاتجاه الخلفي. ويخفض الضوء المنتثر بتأثير بريليون إلى 11 GHz عند 1550 nm.

2.5.II تقدير عتبة الانتثار SBS بالنسبة للألياف أحادية الأسلوب

1.2.5.II عتبة SBS

يعبر بشكل عام عن عتبة SBS بالمعادلة التالية:

$$P_{th} = 21\frac{KA_{eff}}{gL_{eff}}\frac{\Delta\nu_p + \Delta\nu_B}{\Delta\nu_B} \quad \text{(6-II)}$$

حيث يفترض مضخة لورنتزيان (Lorentzian) وعرض الخط بريليون، وتعين g كسب بريليون (وحدات الطول/القدرة) و A_{eff}هي المنطقة الفعالة. وتكون قيمة K ثابتة ($1 \le K \le 2$) تحددها درجة حرية حالة الاستقطاب. وتمثل القيمة $\Delta\nu_B$ والقيمة $\Delta\nu_p$ عرض نطاق بريليون وعرض خط ضوء المضخة (MHz) على التوالي. وتعين القيمة L_{eff} الطول الفعال على النحو التالي:

$$L_{eff} = \frac{1-\exp(-\alpha L)}{\alpha} \quad \text{(7-II)}$$

حيث α هو معامل التوهين وL طول الليف.

تعتمد عتبة SBS، P_{th} ، على عرض الخط، $\Delta\nu_p$، لضوء المضخة. حيث تصل القيمة P_{th} ، $\frac{\Delta\nu_p}{\Delta\nu_B} << 1$ إلى الحد الأدنى، مما يعرِّف أقصى قدرة دخل للحالة المستقرة، P_m، في غيبة عرض خط أكبر للمضخة أو مخططات التشكيل. ويمكن التعبير عن أقصى قدرة دخل بما يلي:

$$P_m = 21\frac{KA_{eff}}{gL_{eff}} \quad \text{(8-II)}$$

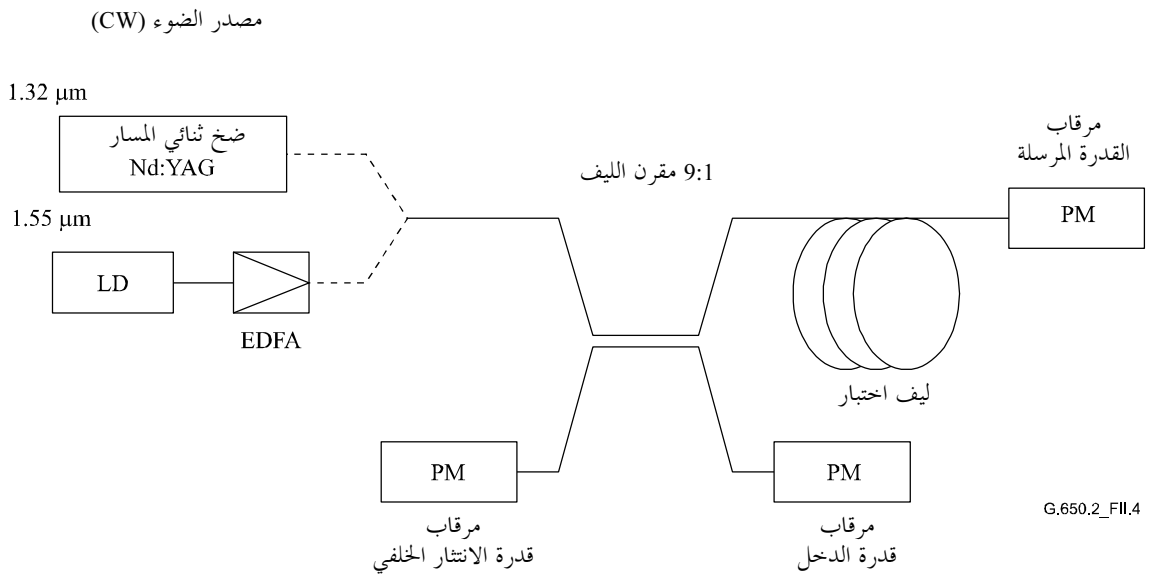
الملاحظة 1 – يمكن زيادة قدرة الدخل القصوى الحالية لنظام إرسال بمخططات تشكيل متعددة وردت في بعض المؤلفات.

الملاحظة 2 – تتطلب القيمة P_{th} وP_m تقديراً لمعامل الكسب، g، الذي يجب تحديده بناء على اختبارات، وقد يتميز بدالة قطر مجال الأسلوب لتصميم ليف معين.

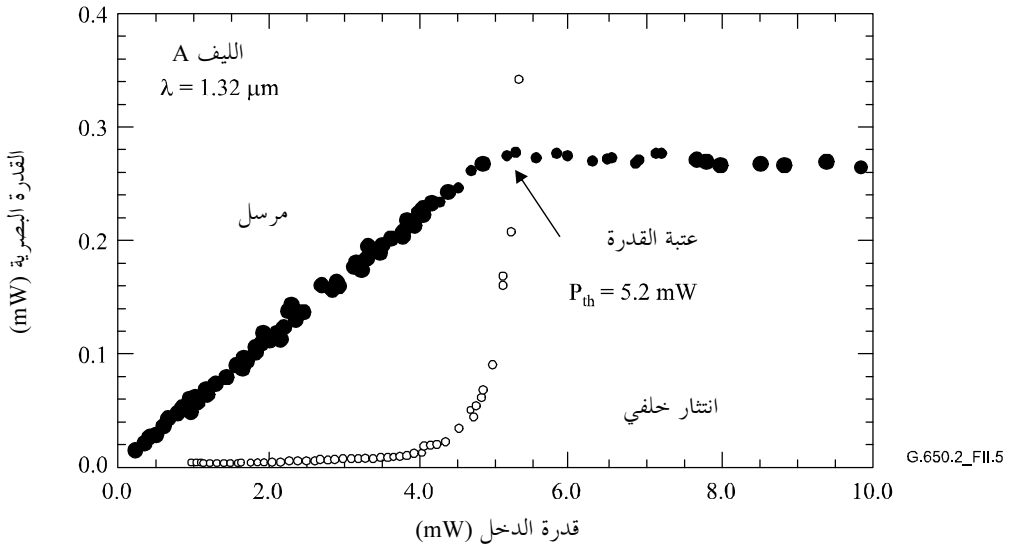
2.2.5.II الإنشاء التجريبـــي لعتبة SBS

يبين في الشكل 4.II إنشاء لقياس عتبة SBS. تكون المضخة 1,32 µm هي مضخة ثنائي المسار LD لليزر أحادي التردد Nd:YAG مع عرض خط يقدر بنحو 5 kHz. تكون المضخة 1,55 µm هي مضخة ثنائي المسار DFB LD مع عرض خط يقدر بزهاء 200 kHz. ويضخم ضوء الموجة المستمرة CW من مصدر ثنائي المسار DFB بواسطة مضخم ليف معالج. ويمكن إهمال عرض خط ضوء المضخة بالمقارنة مع القيمة $\Delta\nu_B$ (من 20 إلى 100 MHz). ويطلق ضوء مضخة الموجة المستمرة CW في ليف الاختبار من خلال مقرن ليف بنسبة تفريغ تبلغ 1,9. وتراقب قدرات الضوء للدخل والإرسال والضوء المنتثر خلفياً بواسطة مقياس للقدرة.

يرد في الشكل 5.II مثال على القدرة المرسلة والقدرة المنتثرة خلفياً عند 1,32 µm كدالة لقدرة دخل ليف التوصية G.654 [3]. وتتوقف القدرة المرسلة عن التزايد وتتزايد قدرة الانتثار الخلفي بسرعة عندما تصل قدرة الدخل إلى سوية معينة للقدرة. وتعرف عتبة SBS على أنها قدرة دخل المضخة التي تنتج قدرة ستوكس للانتثار الخلفي المساوية لقدرة المضخة المرسلة (انظر الشكل 5.II). ويلخص الجدول 2.II معلمات الليف وعتبة SBS لأنماط ألياف مختلفة.



الشكل G.650.2/4.II – إنشاء تجريبـــي



الشكل G.650.2/5.II – القدرة المرسلة والقدرة المنتشرة خلفياً كدالة لقدرة الدخل

لا تصلح قدرات العتبة الواردة في الجدول 2.II إلا لألياف الاختبار وفقاً لظروف الاختبار الواردة. ويمكن تطبيق قيم أعلى خلال التطبيق العادي لأنظمة الإرسال.

الجدول G.650.2/2.II – معلمات ليف الاختبار

الليف		A	B	C	D	E	F	G
نمط الليف		التوصية ITU-T G.654	التوصية ITU-T G.652	التوصية ITU-T G.653	التوصية ITU-T G.653	التوصية ITU-T G.653	التوصية ITU-T G.653	التوصية ITU-T G.653
الطول (km)		41,3	32,0	20,2	25,2	24,1	21,6	30,0
الخسارة (dB/km)	nm 1320	0,302	0,322	0,360	0,360	0,360	0,362	0,364
	nm 1550	0,172	0,194	0,200	0,200	0,200	0,200	0,209
القطر (µm)	nm 1320	9,1	9,8	6,3	6,5	6,3	6,7	6,2
	nm 1550	10,1	10,9	7,8	8,1	7,8	8,3	7,6
التغير في زحزحة تردد بريليون (MHz)		1	1,5	1,5	–	–	–	6,0
قدرة العتبة (mV)	nm 1320	5,2	6,4	3,3	3,4	2,9	3,6	4,1
	nm 1550	4,2	5,3	3,9	3,7	3,3	4,4	4,0

3.2.5.II تقدير عتبة الانتثار SBS

يبين الشكل 6.II العلاقة بين عتبة الانتثار SBS وA_{eff}/L_{eff} لألياف الاختبار. ويبين الشكل أن عتبة SBS تعتمد خطياً على A_{eff}/L_{eff}. ويمكن تقدير عتبة الانتثار SBS بالمعادلة التالية:

$$P_{th} = 0.11\left[\frac{A_{eff}}{L_{eff}}\right] \quad \text{(9-II)}$$

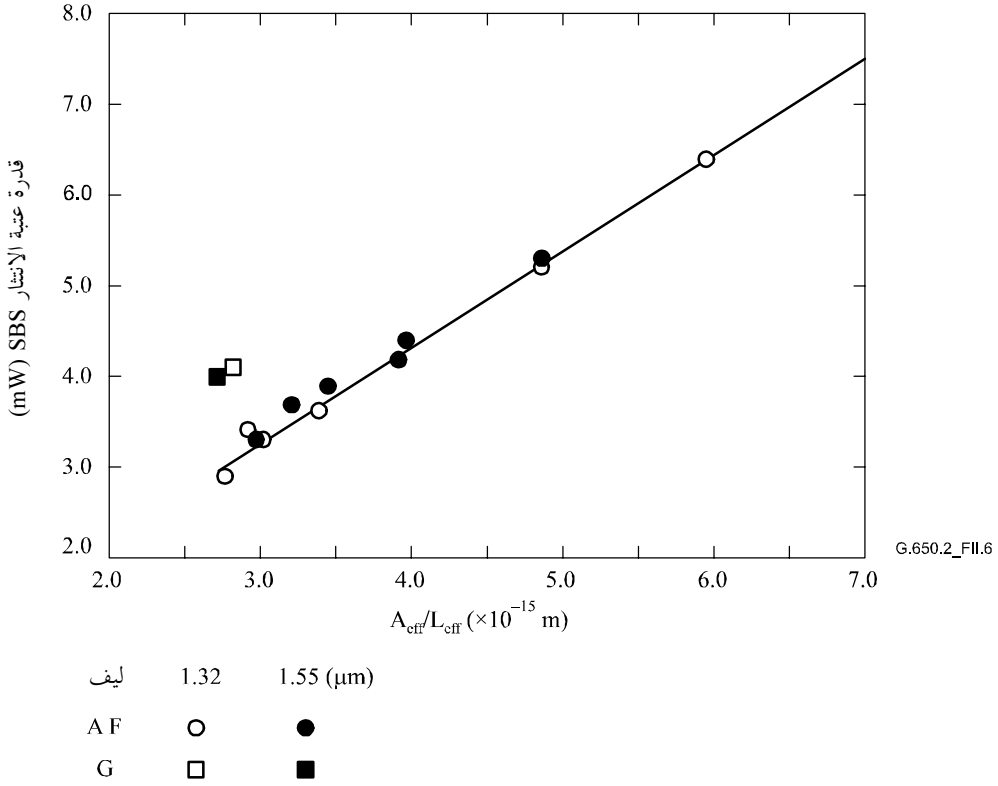
حيث تكون قيمة A_{eff} بقيمة μm^2 بوحدات km، وقيمة P_{th} بوحدات mW.

ويمكن إعادة كتابة المعادلة 9.II باستعمال طول الليف L، وقطر مجال الأسلوب 2W، ومعامل التوهين α كما يلي:

$$P_{th} = 0.11\left[k\pi\left(\frac{2W}{2}\right)^2 \frac{\alpha}{1-\exp(-\alpha L)}\right] \quad \text{(10-II)}$$

تكون قيمة k هنا بمثابة عامل تصحيح يربط بين قطر مجال الأسلوب وA_{eff} بالنسبة لتصميم ليف معين وطول الموجة.

ملاحظة – إذا تغيرت زحزحة تردد بريليون بأكثر من عدة وحدات MHz على طول الليف، تكون قيمة P_{th} أكبر من القيمة الواردة في المعادلة 9.II.



الشكل G.650.2/6.II – العلاقة بين عتبة انتشار SBS وA_{eff}/L_{eff}

6.II الآثار الأخرى

انظر وصف الآثار البصرية الأخرى غير الخطية (مثل خلط أربع موجات، وعدم استقرار التشكيل، وتشكيل الطور الذاتي، وتشكيل الطور المتقاطع، وانتشار سوليتون ورامان المستحث) في التذييل II بالتوصية G.663.

التذييل III

طرائق اختبار المنطقة الفعالة (A_{eff})

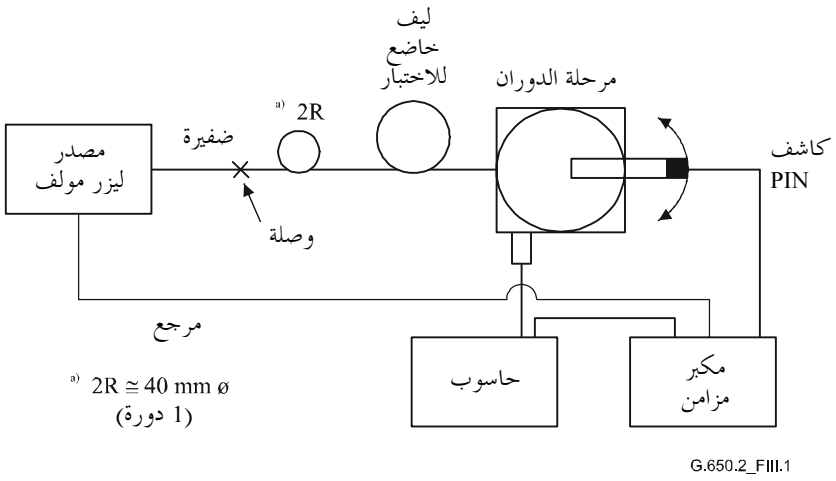
1.III تقنية مسح المجال البعيد (FFS)

1.1.III اعتبارات عامة

تحدد المنطقة الفعالة (A_{eff}) للألياف البصرية بأسلوب أحادي بواسطة تقنية مسح المجال البعيد.

2.1.III جهاز الاختبار

يبين في الشكل 1.III مخطط لاختبار مسح المجال البعيد (FFS).



الشكل G.650.2/1.III – ترتيب نمطي لمسح المجال البعيد

1.2.1.III مصدر الضوء (وفقاً للفقرة 1.2.1.1.5 من التوصية G.650.1)

2.2.1.III التشكيل (وفقاً للفقرة 2.2.1.1.5 من التوصية G.650.1)

3.2.1.III ظروف الإطلاق (وفقاً للفقرة 3.2.1.1.5 من التوصية G.650.1)

4.2.1.III كابت بأسلوب الغمد (وفقاً للفقرة 4.2.1.1.5 من التوصية G.650.1)

5.2.1.III نموذج (وفقاً للفقرة 5.2.1.1.5 من التوصية G.650.1)

6.2.1.III جهاز المسح (وفقاً للفقرة 6.2.1.1.5 من التوصية G.650.1)

7.2.1.III الكاشف (وفقاً للفقرة 7.2.1.1.5 من التوصية G.650.1)

8.2.1.III المكبر (وفقاً للفقرة 8.2.1.1.5 من التوصية G.650.1)

9.2.1.III حيازة المعطيات (وفقاً للفقرة 9.2.1.1.5 من التوصية G.650.1)

3.1.III إجراء القياس

يتراصف طرف إطلاق الليف على حزمة الإطلاق، ويتراصف طرف خرج الليف على جهاز الخرج المناسب.

تحسب المنطقة الفعالة (A_{eff}) استناداً إلى المعادلة 1.III.

1.3.1.III معايرة التجهيزات

لمعايرة التجهيزات، يقاس تضخيم بصريات التضخيم بمسح لطول نموذج تكون أبعاده معروفة بدقة مناسبة. ويسجل هذا التضخيم.

2.3.1.III الحسابات

1.2.3.1.III المعادلات والأرقام لحساب المنطقة الفعالة (A_{eff})

1) *معطيات القدرة المشعة للمجال البعيد*

تكون $P(\theta_i)$ القدرة المقاسة كدالة للوضع الزاوي، θ_i (قياس راديالي) بدليل i.

ويكون منحنى القدرة المطوي، $P_f(\theta_i)$ من أجل $0 \le \theta_i \le \theta max$ كما يلي:

$$P_f(\theta_i) = \frac{P(\theta_i) + P(-\theta_{-i})}{2} \qquad \text{(1-III)}$$

2) *حساب مخطط شدة المجال القريب*

تستعمل طريقة التكامل الرقمي المناسبة لحساب الأرقام الصحيحة في المعادلة 1.III. ويرد مثال في المعادلة 2.III. وتكون أي طريقة أخرى لحساب الأرقام الصحيحة بنفس القدر من الدقة.

تُحسب قيم المجال القريب لمدى راداري، r_j ، بقيم تتراوح من صفر إلى قيمة عريضة بما يكفي بحيث تكون الشدة المسحوبة عند أقصى نصف قطر أقل من 0,01% من الشدة القصوى.

$$I(r_j) = \left[\sum_0^n P_f^{1/2}(\theta_1) \mathrm{J}_0 \left(\frac{2\pi r\, j \sin(\theta_i)}{\lambda} \right) \sin(2\theta_i) \Delta\theta \right]^2 \quad \text{(2-III)}$$

حيث $\Delta\theta = \theta_1 - \theta_0$

3) *حساب الأرقام الصحيحة في المعادلة (2-III)*

تستعمل طريقة التكامل العددي المناسبة لحساب الأرقام الصحيحة في المعادلة 2-III. ويرد مثال لذلك في المعادلة 3-III. وتكون أي طريقة تكامل أخرى بنفس القدر من الدقة.

$$T = \left[\sum_0^m I(r_j) r_j \Delta r \right]^2 \quad \text{(3-III)}$$

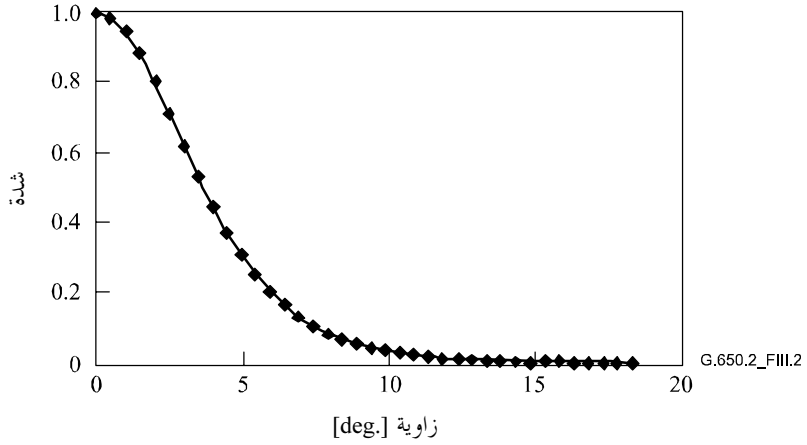
$$B = \sum_0^m I^2(r_j) r_j \Delta r \quad \text{(4-III)}$$

حيث $\Delta r = r_1 - r_0$ و m هو عدد المواقع المقاسة.

4) *إتمام الحساب*

$$A_{eff} = \frac{2\pi T}{B} \quad \text{(5-III)}$$

يوضح مثال للمعطيات المقاسة لقدرة المجال البعيد في الشكل 2.III.



الشكل G.650.2/2.III – مثال لمعطيات مخطط المجال البعيد (FFP)

4.1.III تقديم النتائج

يتعين تقديم التفاصيل التالية:

أ) ترتيب إجراء الاختبار، والمدى الدينامي لنظام القياس، وخوارزميات المعالجة ووصف لمجموع الفتحة المستعملة (بما في ذلك الفتحة الرقمية (NA).

ب) ظروف الإطلاق.

ج) طول الموجة واتساع الخط الطيفي FWHM للمصدر.

د) تعرف هوية الليف وطوله.

هـ) نمط الكاشف وأبعاده

و) درجة حرارة العينة والظروف البيئية (عند الضرورة).

ز) الدلالة على الدقة والتكرارية.

ح) المنطقة الفعالة (A_{eff}).

ط) منحنى $A_{eff}(\lambda)$ (عند الاقتضاء).

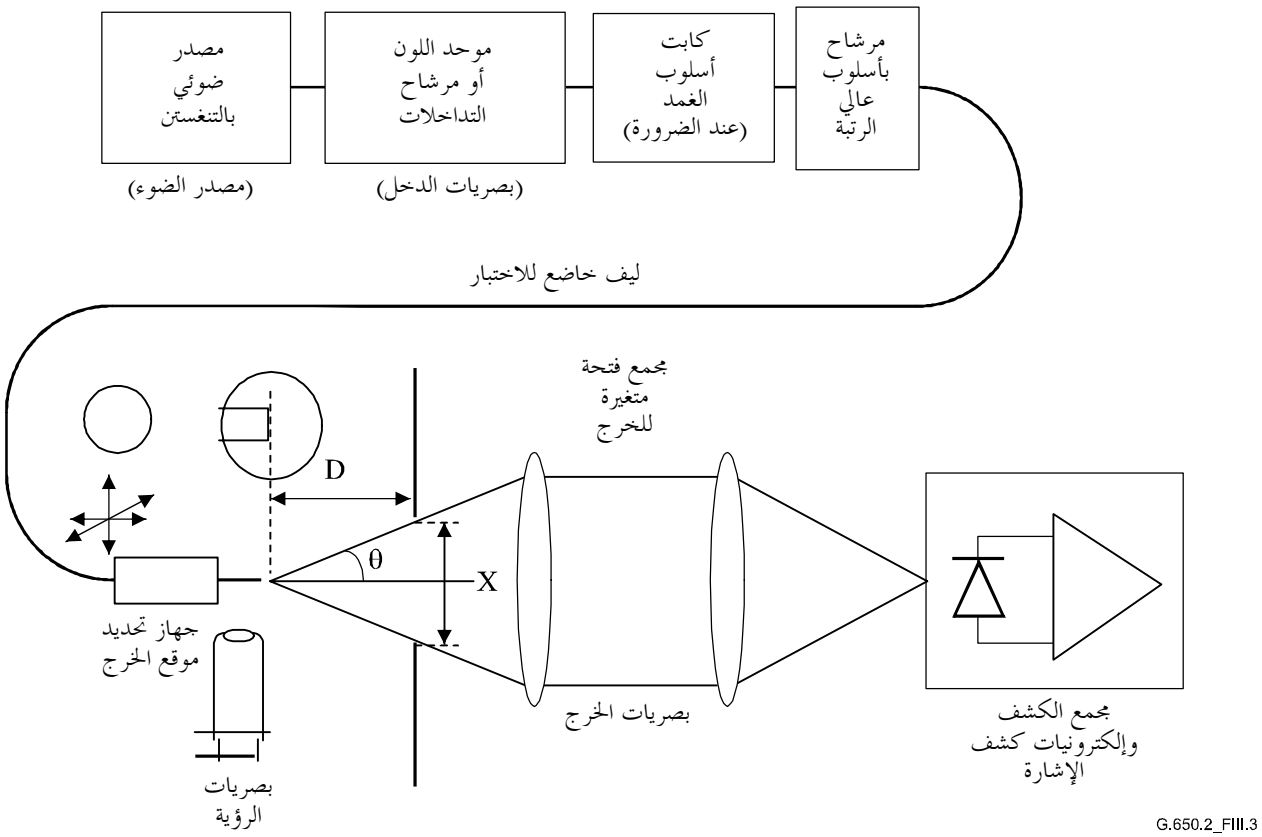
2.III تقنية الفتحة المتغيرة (VA)

1.2.III اعتبارات عامة

تحدد المنطقة الفعالة (A_{eff}) لألياف أحادية الأسلوب بفتحة متغيرة في تقنية قياس المجال البعيد.

2.2.III جهاز الاختبار

يرد في الشكل 3.III مخطط لإنشاء اختبار لتقنية الفتحة المتغيرة VA.



الشكل G.650.2/3.III – ترتيب نمطي لإنشاء تقنية فتحة متغيرة

1.2.2.III مصدر الضوء (وفقاً للفقرة 1.2.1.1.5 من التوصية G.650.1)

2.2.2.III التشكيل (وفقاً للفقرة 2.2.1.1.5 من التوصية G.650.1)

3.2.2.III ظروف الإطلاق (وفقاً للفقرة 3.2.1.1.5 من التوصية G.650.1)

4.2.2.III كابت بأسلوب الغمد (وفقاً للفقرة 4.2.1.1.5 من التوصية G.650.1)

5.2.2.III النموذج (وفقاً للفقرة 5.2.1.1.5 من التوصية G.650.1)

6.2.2.III جهاز الفتحة

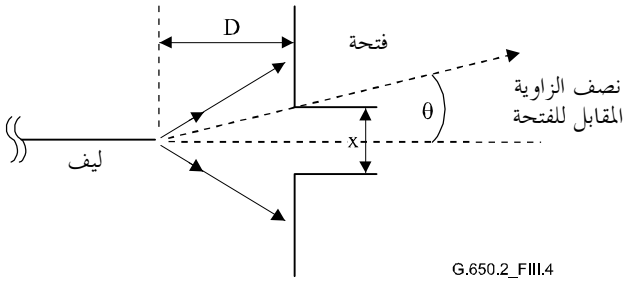
يتعين استعمال آلية تتألف من 12 فتحة على الأقل، تدور في مدى نصف زاوية الفتحة الرقمية من 0,02 إلى 0,25 (0,4 للألياف التي تغطيها التوصية G.653). يجمع الضوء المرسل من الفتحة ويركز على الكاشف.

ملاحظة – يجب أن يكون اتساع الفتحة الرقمية لبصريات التجميع كافياً بحيث لا يؤثر على نتائج القياس.

7.2.2.III مجموعة الفتحة المتغيرة للخرج

هو جهاز يتألف من فتحات إرسال مستديرة مختلفة القد (مثل عجلة فتحة) يوضع على مسافة D قدرها $100\ w^2/\lambda$ من طرف الليف، ويستعمل لتغيير القدرة المجمعة من مخطط خرج الليف. ويستعمل ما بين 12 إلى 20 فتحة عادة وتوضع على مسافة تتراوح بين 20 و50 mm تقريباً من طرف الليف. تكون الفتحة الرقمية القصوى للاختبار 0,40. وتستعمل وسائل لتركيز الفتحات بالنسبة للمخطط لتقليل حساسية الزاوية الجبهية لليف.

وكجزء من إنشاء التجهيز (كما هو مبين في الشكل 4.III) تقاس وتسجل بدقة المسافة الطولية D بين موقع خرج طرف الليف ومستوى الفتحة ونصف قطر كل فتحة X_i. يحدد نصف الزاوية المقابل لفتحة في العجلة وتسجل هذه القيم θ_i (i = 1 بترتيب متزايد لقد الفتحة) من أجل الحسابات المقبلة. وتكون هذه القيم مستقلة عن طول موجة الاختبار.



الشكل G.650.2/4.III – تركيب جهاز ضبط الفتحة

8.2.2.III الكاشف (وفقاً للفقرة 7.2.1.1.5 من التوصية G.650.1)

9.2.2.III المكبّر (وفقاً للفقرة 8.2.1.1.5 من التوصية G.650.1)

10.2.2.III حيازة المعطيات (وفقاً للفقرة 9.2.1.1.5 من التوصية G.650.1)

3.2.III إجراء القياس

يتراصف طرف الإطلاق لليف على حزمة الإطلاق، ويتراصف طرف خرج الليف على جهاز الخرج المناسب.

تحسب المنطقة الفعالة (A_{eff}) بناء على المعادلات من 6-III إلى 10-III.

1.3.2.III معايرة الجهاز

لمعايرة الجهاز، يقاس تضخيم بصريات التضخيم بمسح لطول نموذج تكون أبعاده معروفة بدقة مناسبة. ويسجل هذا التضخيم.

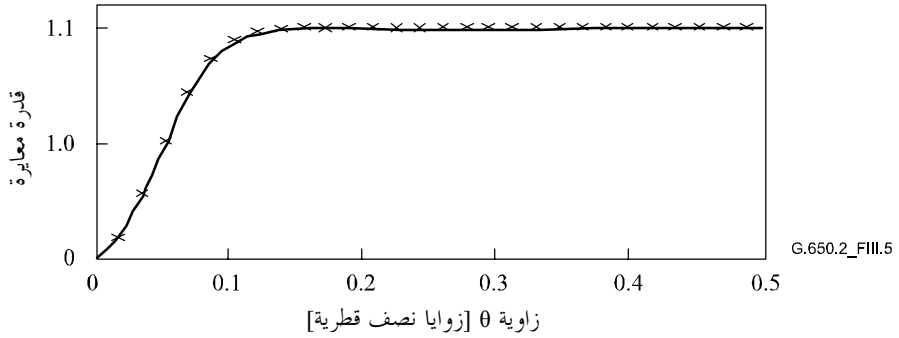
2.3.2.III الحسابات

1.2.3.2.III المعادلات والأشكال لحساب المنطقة الفعالة (A_{eff})

تقيس تقنية الفتحة المتغيرة القدرة الكلية المعايرة $f(\theta)$ التي تمر عبر فتحة معينة كما هو مبين في الشكل 3.III، لزاوية المجال البعيد θ المقابلة لسوية الليف. وهذه القيم للقدرة تعادل إدراج توزيع القدرة في المجال البعيد المعايرة $F^2(\theta)$، وهو ما تشير إليه المعادلة 6-III.

$$f(\theta) = \int_0^{\theta} F^2(\theta)\sin(\theta)d\theta \tag{6-III}$$

يرد في الشكل 5.III مخططاً للقدرة المرسلة عبر فتحات كدالة للزاوية θ.



الشكل G.650.2/5.III – مخطط معطيات الفتحة المتغيرة المقاسة

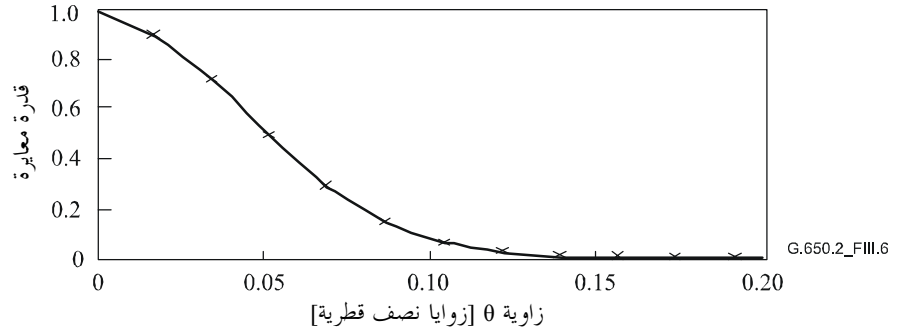
تكيف دالة تربيعية بمعطيات فتحة المجال البعيد، كما في المعادلة III-7:

$$f(\theta) = A\theta^4 + B\theta^3 + C\theta^2 + D\theta^1 + E \tag{7-III}$$

تحسب المنطقة الفعالة A_{eff} انطلاقاً من توزيع قدرة المجال البعيد I (r) كدالة لنصف القطر (r). ولإجراء هذا الحساب، يجب التمييز في المقام الأول بين معطيات القدرة المتكاملة، $f(\theta)$، للحصول على توزيع قدرة المجال البعيد $F^2(\theta)$.

$$F^2(\theta) = \frac{df(\theta)}{d(\theta)} \cdot \frac{1}{\sin\theta} \tag{8-III}$$

يرد في الشكل 6.III مخططاً لهذا التوزيع FFP المحسوب.

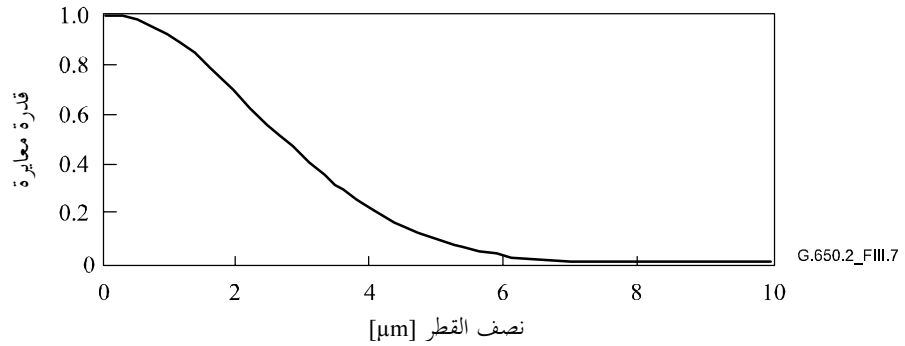


الشكل G.650.2/6.III – مخطط توزيع FFP

واستناداً إلى توزيع قدرة المجال البعيد $F^2(\theta)$، يمكن عندئذ حساب توزيع قدرة المجال القريب I (r)، كدالة نصف القطر r، باستعمال تحويل عاكس هنكل على النحو التالي:

$$I(r) = \left[\int_0^{\infty} \sqrt{F^2(\theta)} \cdot J_0\left(\frac{2\pi r}{\lambda}\right)\sin 2\theta d\theta\right]^2 \tag{9-III}$$

يرد في الشكل 7.III مخططاً لهذا التوزيع المحسوب للمجال القريب I (r) كدالة لنصف القطر r.



الشكل G.650.2/7.III – مخطط توزيع NFP

وتحسب المنطقة الفعالة A_{eff} عندئذ انطلاقاً من توزيع المجال البعيد باستعمال المعادلة III-10.

$$A_{eff} = 2\pi \cdot \frac{\left[\int_0^{\infty} I(r) \cdot r dr\right]^2}{\int_0^{\infty} I(r)^2 \cdot r dr} \qquad \text{(10-III)}$$

4.2.III تقديم النتائج

يتعين تقديم النتائج التالية:

أ) ترتيب إجراء الاختبار والمدى الدينامي لنظام القياس، وخوارزميات المعالجة، ووصف جهاز الفتحة المستعمل (بما في ذلك الفتحة الرقمية).

ب) ظروف الإطلاق.

ج) طول الموجة واتساع الخط الطيفي FWHM للمصدر.

د) تعرف هوية الليف وطوله.

ه) نمط كابت أسلوب الغمد.

و) نمط الكاشف وأبعاده.

ز) درجة حرارة العينة والظروف البيئية (عند الضرورة).

ح) الدلالة على الدقة والتكرارية.

ط) المنطقة الفعالة A_{eff}.

ي) مخطط $A_{eff}(\lambda)$ (إذا اقتضى الأمر).

3.III تقنية مسح المجال القريب (NFS)

1.3.III اعتبارات عامة

تحدد المنطقة الفعالة (A_{eff}) للألياف أحادية الأسلوب باستعمال تقنية قياس بمسح المجال القريب.

2.3.III جهاز الاختبار

1.2.3.III مصدر الضوء (وفقاً للفقرة 1.2.1.1.5 من التوصية G.650.1)

2.2.3.III التشكيل (وفقاً للفقرة 2.2.1.1.5 من التوصية G.650.1)

3.2.3.III ظروف الإطلاق (وفقاً للفقرة 3.2.1.1.5 من التوصية G.650.1)

4.2.3.III كابت أسلوب الغمد (وفقاً للفقرة 4.2.1.1.5 من التوصية G.650.1)

5.2.3.III النموذج (وفقاً للفقرة 5.2.1.1.5 من التوصية G.650.1)

6.2.3.III جهاز المسح (وفقاً للفقرة 6.2.1.1.5 من التوصية G.650.1)

7.2.3.III الكاشف (وفقاً للفقرة 7.2.1.1.5 من التوصية G.650.1)

8.2.3.III المكبر (وفقاً للفقرة 8.2.1.1.5 من التوصية G.650.1)

9.2.3.III حيازة المعطيات (وفقاً للفقرة 9.2.1.1.5 من التوصية G.650.1)

3.3.III إجراء القياس

يتراصف طرف الإطلاق لليف على حزمة الإطلاق، ويتراصف طرف خرج الليف على جهاز الخرج المناسب.

تُحسب المنطقة الفعالة (A_{eff}) من المعادلات من III-11 إلى III-15.

1.3.3.III معايرة الجهاز

لمعايرة الجهاز، يقاس تضخيم بصريات التضخيم بمسح لطول نموذج ما أبعاده معروفة بالفعل بدقة مناسبة. ويسجل هذا التضخيم.

2.3.3.III الحسابات

1.2.3.3.III المعادلات والأشكال لحساب المنطقة الفعالة (A_{eff})

1) *يُحسب المركز المتوسط*

لمقطع عرضي معين لمخطط المجال القريب (NFP) بأقصى تمديد، مع قيم الموقع التي تحددها r وقيم الشدة $I(r_i)$، وموقع المركز المتوسط r_c، بالمعادلة التالية:

$$r_c = \frac{\sum r_i I(r_j)}{\sum I(r_i)} \qquad \text{(11-III)}$$

2) *طي المظهر الجانبي للشدة*

يعاد تأشير معطيات الوضع والشدة حول الموقع r_c، بحيث تكون القيم الدليلية للمواقع الأعلى أكبر من صفر وتكون قيم المواقع الأدنى أقل من صفر. ويعطى أقصى دليل بالقيمة n. وبذلك نحصل على طي المظهر الجانبي للشدة بالمعادلة التالية:

$$I_f(r_i) = \{I(r_i) + I(r_{-i})\}/2 \qquad \text{(12-III)}$$

3) *تُحسب الأعداد الصحيحة من المعادلة (12-III)*

تستعمل طريقة التكامل العددي لحساب الأعداد الصحيحة للمعادلة III-12. وفيما يلي مثال. ويجب أن تكون أي طريقة تكامل أخرى على نفس القدر من الدقة.

$$T = \left[\sum_0^m I(r_j) r_j \Delta r\right]^2 \qquad \text{(13-III)}$$

$$B = \sum_0^m I^2(r_j) r_j \Delta r \qquad \text{(14-III)}$$

حيث $\Delta r = r_1 - r_0$ و m.

4) *إتمام الحساب*

$$A_{eff} = \frac{2\pi T}{B} \qquad \text{(15-III)}$$

يرد مثال في الشكل 7.III لمخطط المجال القريب (NFP) تم الحصول عليه بالقياس.

4.3.III تقديم النتائج

يتعين تقديم النتائج التالية:

أ) ترتيبات إجراء الاختبار، والمدى الدينامي لنظام القياس، وخوارزمية المعالجة ووصف جهاز الفتحة المستعمل (بما في ذلك الفتحة الرقمية).

ب) ظروف الإطلاق.

ج) طول الموجة واتساع الخط الطيفي FWHM للمصدر.

د) تعرف هوية الليف وطوله.

ه) نمط كابت أسلوب الغمد.

و) نمط الكاشف وأبعاده.

ز) درجة حرارة العينة والظروف البيئية (عند الضرورة).

ح) الدلالة على الدقة والتكرارية.

ط) المنطقة الفعالة A_{eff}.

ي) مخطط $A_{eff}(\lambda)$ (إذا اقتضى الأمر).

التذييل IV

معلومات بشأن إحصاءات التشتت بأسلوب الاستقطاب

يوفر هذا التذييل موجزاً لبعض الحسابات الإحصائية للتشتت PMD. وتيسر وثيقة اللجنة الكهرتقنية الدولية 3-61282 الحسابات والنظرية بطريقة أكثر اكتمالاً. وسيرد وصف تفصيلي لها في البنود التالية:

- مقدمة
- جمع المعطيات
- حساب التشتت بأسلوب الاستقطاب (مونت كارلو)
- حساب المهلة DGD_{max} (مونت كارلو)

ملاحظة – توجد طرائق حساب أخرى ويرد تعريفها في الوثيقة 3-61282 الصادرة عن اللجنة الكهرتقنية الدولية. ويشار إلى طريقة مونت كارلو هنا لأنها سهلة الوصف.

1.IV مقدمة

التشتت بأسلوب الاستقطاب (PMD) هو نعت إحصائي ويعرَّف، بالنسبة لليف معين، بوصفه متوسط القيم المقاسة لمهلة انتشار الزمرة التفاضلية DGD عبر مدى أطوال الموجة. ولما كانت قيم DGD عشوائية وفقاً للزمن وطول الموجة، ثمة حد أدنى نظري لقابلية الاستنساخ الممكن تحقيقها لقيمة PMD المبلغة وقدرها ±15% تقريباً. وتنطوي هذه الخاصية على أنه ليس من الملائم انتقاء ألياف فرادى لمواصفة أكثر ضيقاً من مقدرة العملية. وكثيراً ما يكون مثل هذا الانتقاء مناسباً للنعوت المحددة مثل التوهين لكنها غير مناسبة بشكل عام لتشتت PMD. ويعني هذا أن وجود مواصفة تتناول التوزيع الكلي للعملية أمر معقول تماماً.

والاعتبار الثاني المتعلق بالعنصر الوظيفي لتشتت PMD هو أن انحطاط النظام في زمن معين وطول موجة معين تضبطه قيمة المهلة DGD، التي تتفاوت إحصائياً حول قيمة التشتت PMD. وإذا قدمت قيمة للتشتت PMD لليف مكبل معين، يمكن حساب احتمال تجاوز المهلة DGD قيمة معينة. غير أنه من الواضح أن تطبيق هذه الصيغ بقيمة قصوى محددة سيؤدي إلى رؤية غير دقيقة للأداء الحقيقي للنظام. إلا أن وجود مواصفة إحصائية تتناول التشتت PMD يمكن أن يؤدي إلى وضع حد إحصائي على قيم المهلة DGD للتأهيل ككل. ويؤدي هذا الحد، المحدد من حيث الاحتمال، إلى قيمة قابلة للاستعمال في

تصميم الأنظمة وهي أدنى بحوالي 20% تقريباً من قيمة مهلة DGD ومن درجتين أقل من حيث الاتساع في الاحتمال مقارنة بالقيم التي كان يمكن الحصول عليها بدون مواصفة إحصائية.

وفيما يتعلق بالاعتبار الأول، من المستصوب تعريف قياس إحصائي وحيد لتوزيع قيم التشتت PMD المقاسة على كبلات بألياف بصرية. ولذلك من الضروري أن يتضمن القياس جانب متوسط العملية وجانب قابلية تغير العملية على السواء. ويُعتبر الحد الأعلى للثقة في مستوى معين للاحتمال من الأمثلة على هذا القياس.

ومن المعروف أن معامل التشتت PMD لمجموعة من الكبلات المتسلسلة يمكن تقديره بحساب المتوسط التربيعي لمعاملات تشتت PMD للكبلات فرادى. لإعطاء قياس حد الثقة الأعلى مغزى أكبر من حيث التطبيق، يحسب راجح وصلة متسلسلة من 20 كبلاً. ومن المؤكد أن هذا العدد من الكبلات أقل من ذلك المستعمل في معظم الوصلات، لكنه كبير بما فيه الكفاية لكي تكون له دلالة من حيث إسقاط توزيع مهل DGD بالنسبة للوصلات المتسلسلة. وقيمة احتمال قدرها 0,01% تعتبر مقيسة أيضاً – جزئياً للحصول على مكافئ بأن مهلة انتشار الزمرة التفاضلية DGD يتجاوز قيمة محددة، حيث يقتضي الأمر أن تكون منخفضة جداً. ويطلق على حد الثقة الأعلى PMD_Q ، أو قيمة تصميم الوصلة وتُعرف هذه المواصفة بالطريقة 1.

يضبط حد الاحتمال لمهلة DGD عند $6{,}5 \cdot 10^{-8}$ على أساس مختلف الاعتبارات المتعلقة بالنظام بما في ذلك احتمال وجود مكونات مولدة للتشتت PMD في الوصلات. وتصف وثيقة اللجنة الكهرتقنية الدولية 3-61828 طريقة لتحديد حد أقصى (يعرَّف من حيث الاحتمال) بحيث إذا استوفى التوزيع اشتراط الطريقة 1، يتجاوز زمن انتشار المجموعة التفاضلية عبر الوصلات المكونة من كبلات بألياف بصرية زمن انتشار المجموعة التفاضلية الأقصى باحتمال يقل عن $6{,}5 \cdot 10^{-8}$. وتحدد قيمة DGD_{max} لمدى عريض من أشكال التوزيع. ويطلق على طريقة DGD_{max} لتحديد توزيع تشتت PMD بالنسبة لكبلات الألياف البصرية بالطريقة 2. وترد في الوثيقة الصادرة عن اللجنة الكهرتقنية الدولية 3-61282 طرائق للدمج بين معلمات الطريقة 2 وتلك الخاصة بمكونات بصرية أخرى.

والطريقة 1 هي طريقة قياس تقوم على الكميات التي تكون موضع قياس، وبالتالي، فهي أبسط إلى حد ما في الاستعمال في المبادلات التجارية والتجارة كاشتراط معياري. والطريقة 2 هي وسيلة استقرائية للآثار على تصميم الأنظمة، ومن ثم تُدرج كمعلومة لتصميم الأنظمة.

2.IV جمع المعطيات

تُجرى الحسابات باستعمال قيم التشتت PMD التمثيلية لفترة معينة لبناء أو تصنيع كبل ما. وبشكل عام، من الضروري وجود 100 قيمة على الأقل. وتؤخذ العينة عادة من مختلف الكبلات المنتجة ومن مواقع مختلفة من الليف على الكبلات.

ويمكن زيادة توزيع الكبلات بإجراء قياسات على الألياف غير المكبلة شريطة تبيان العلاقة بين الألياف غير المكبلة وقيم الكبل لإنشاء معين. ومن وسائل هذه الزيادة في التوزيع، توليد عدة قيم ممكنة للكبلات من قيمة كل ليف غير مكبل. وينبغي اختيار هذه القيم المختلفة عشوائياً لتمثل العلاقة المعتادة والتغير الناجم عن تطابق نتائج القياس مثلاً. وحيث إن مدى التغييرات يشمل خطأ تطابق النتائج، يمكن أن تؤدي هذه الطريقة لتقدير توزيع قيم تشتت PMD للكبلات إلى المغالاة في تقدير PMD_Q.

وقد يبدو أن لطول العينات المقاسة آثار على إسقاطات الطريقة 2. وقد جرت دراسة هذا الجانب وتم التوصل إلى الاستنتاجات التالية. تظل الآثار المترتبة على الطريقة 2 صالحة لأي وصلة تقل عن 400 km طالما:

- كان طول الكبلات المركبة يقل عن 10 km؛
- كانت الأطوال المقاسة تقل عن 10 km.

3.IV حساب التشتت PMD_Q (مونت كارلو)

ترد في الوثيقة الصادرة عن اللجنة الكهرتقنية الدولية 3-61282 طرائق حساب أخرى. ويرد وصف لطريقة مونت كارلو هنا لأنها أسهل طريقة يمكن وصفها وتستعمل افتراضات معدودة.

تمثل القيم المقاسة لمعاملات تشتت PMD بالقيمة x_i؛ وتتراوح i ما بين 1 وN، عدد القياسات. وسوف تستعمل هذه القيم لتوليد 100 000 قيمة لمعامل تشتت PMD لوصلة متسلسلة، تحسب كل منها بمتوسط تربيعي من 20 قيمة لكبل مفرد تم اختياره عشوائياً من العينات المتيسرة.

ملاحظة – عندما N = 100، عندئذ توجد $5{,}3 \cdot 10^{20}$ قيمة لوصلات ممكنة.

لحساب قيمة كل وصلة، يتم اختيار 20 عدد عشوائي من 1 إلى N. يتم اختيار هذه القيم وتلحق بالدليل k. ويحسب معامل تشتت PMD على النحو التالي:

$$y = \left(\frac{1}{20} \sum_{k=1}^{20} x_k^2 \right)^{1/2} \tag{1-IV}$$

تجمع 100 000 قيمة للقيمة y في مخطط درجي عالي الكثافة أثناء عملية حسابها. وعند إتمام عملية الحساب هذه، يستعمل المخطط الدرجي لحساب دالة الاحتمال المتراكم وتحدد قيمة التشتت PMD المرتبطة بسوية الثقة وقدرها 99,99%. تسجل هذه القيمة باعتبارها PMD_Q. وإذا كانت القيمة المحسوبة للتشتت PMD أقل من القيمة المحددة ((0,5 ps/sqrt(km))، يستوفي التوزيع الطريقة 1.

4.IV حساب المهلة DGD_{max} (مونت كارلو)

يستند هذا الحساب إلى حساب التشتت PMD_Q. وفي عملية الحساب هذه، تحدد قيمة المهلة DGD_{max} مسبقاً (عند 25 ps) ويحسب احتمال تجاوز هذه القيمة P_F. وإذا كان الاحتمال المحسوب أقل من القيمة المحددة ($6{,}5 \cdot 10^{-8}$)، يستوفي التوزيع الطريقة 2.

قبل بدء طريقة مونت كارلو، يحسب حد معامل التشتت PMD، P_{max} ، على النحو التالي:

$$P_{\max} = \frac{DGD_{\max}}{\sqrt{L_{ref}}} = \frac{25}{20} = 1.25$$

ولكل زوج تال من بين 20 قيمة لتسلسل وصلة الكبل، y_j وy_{j+1}، تولد قيمة تسلسل 40 كبل، z_j، بالطريقة التالية:

$$z_j = \left(\frac{y_j^2 + y_{j+1}^2}{2} \right)^{1/2} \tag{2-IV}$$

ملاحظة – نحصل بذلك على 50 000 قيمة z_j ، مما يشكل عدداً مناسباً.

يحسب احتمال تجاوز المهلة DGD_{max} ، على jth ، تسلسل من 40 وصلة، p_j ، بالطريقة التالية:

$$p_j = 1 - \int_0^{P_{\max}/z_j} 2\left(\frac{4}{\pi}\right)^{3/2} \frac{t^2}{\Gamma(3/2)} \exp\left[-\frac{4}{\pi}t^2\right] dt \tag{3-IV}$$

Excel™ يعرف الدالة التي يمكن أن تحسب p_j، GAMMADIST(X,ALPHA,BETA,Cumulative). ويطلق على هذه الدالة:

$$PJ = 1 - GAMMADIST(4 \times PMAX \times PMAX / (PI() \times ZI \times ZI), 1.5, 1, TRUE) \tag{4-IV}$$

وتعطى احتمال تجاوز المهلة DGD_{max} بالمعادلة التالية:

$$P_F = \frac{1}{50000} \sum_j p_j \tag{5-IV}$$

إذا كانت P_F أقل من القيمة المحددة، يستوفي التوزيع الطريقة 2.

سلاسل التوصيات الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات

السلسلة A	تنظيم العمل في قطاع تقييس الاتصالات
السلسلة B	وسائل التعبير: التعاريف والرموز والتصنيف
السلسلة C	الإحصائيات العامة للاتصالات
السلسلة D	المبادئ العامة للتعريفة
السلسلة E	التشغيل العام للشبكة والخدمة الهاتفية وتشغيل الخدمات والعوامل البشرية
السلسلة F	خدمات الاتصالات غير الهاتفية
السلسلة G	**أنظمة الإرسال ووسائطه والأنظمة والشبكات الرقمية**
السلسلة H	الأنظمة السمعية المرئية وتعدد الوسائط
السلسلة I	الشبكة الرقمية متكاملة الخدمات
السلسلة J	الشبكات الكبلية وإرسال إشارات البرامج الإذاعية الصوتية والتلفزيونية وإشارات أخرى متعددة الوسائط
السلسلة K	الحماية من التداخلات
السلسلة L	إنشاء الكبلات وغيرها من عناصر المنشآت الخارجية وتركيبها وحمايتها
السلسلة M	إدارة الاتصالات بما في ذلك شبكة إدارة الاتصالات (TMN) وصيانة الشبكات
السلسلة N	الصيانة: الدارات الدولية لإرسال البرامج الإذاعية الصوتية والتلفزيونية
السلسلة O	مواصفات تجهيزات القياس
السلسلة P	نوعية الإرسال الهاتفي والمنشآت الهاتفية وشبكات الخطوط المحلية
السلسلة Q	التبديل والتشوير
السلسلة R	الإرسال البرقي
السلسلة S	التجهيزات المطرافية للخدمات البرقية
السلسلة T	المطاريف الخاصة بالخدمات التلماتية
السلسلة U	التبديل البرقي
السلسلة V	اتصالات المعطيات على الشبكة الهاتفية
السلسلة X	شبكات المعطيات والاتصالات بين الأنظمة المفتوحة والأمن
السلسلة Y	البنية التحتية العالمية للمعلومات وملامح بروتوكول الإنترنت وشبكات الجيل التالي
السلسلة Z	لغات البرمجة والخصائص العامة للبرمجيات في أنظمة الاتصالات

طُبع في سويسرا
جنيف، 2005