

# G.650.2

(2015/08)

# ITU-T

قطاع تقييس الاتصالات  
في الاتحاد الدولي للاتصالات

السلسلة G: أنظمة الإرسال ووسائطه والأنظمة  
والشبكات الرقمية

خصائص ووسائط الإرسال والأنظمة البصرية - كبلات الألياف البصرية

---

تعريف وطرائق اختبار النعوت الإحصائية وغير الخطية  
للألياف والكبلات أحادية الأسلوب

التوصية ITU-T G.650.2

توصيات السلسلة G الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات  
أنظمة الإرسال ووسائطه، والأنظمة والشبكات الرقمية

G.199-G.100	التوصيلات والدارات الهاتفية الدولية
G.299-G.200	الخصائص العامة المشتركة لكل الأنظمة التماثلية بموجات حاملة
G.399-G.300	الخصائص الفردية للأنظمة الهاتفية الدولية بموجات حاملة على خطوط معدنية
G.449-G.400	الخصائص العامة للأنظمة الهاتفية الدولية الراديوية أو الساتلية والتوصيل البيني مع الأنظمة على خطوط معدنية
G.499-G.450	تنسيق المهاتفة الراديوية والمهاتفة السلكية
G.699-G.600	خصائص وسائط الإرسال والأنظمة البصرية
G.609-G.600	اعتبارات عامة
G.619-G.610	أزواج كبلات متناظرة
G.629-G.620	أزواج الكبلات البرية متحدة المحور
G.639-G.630	الكبلات البحرية
G.649-G.640	الأنظمة البصرية في الفضاء الحر
<b>G.659-G.650</b>	<b>كبلات الألياف البصرية</b>
G.679-G.660	خصائص المكونات والأنظمة الفرعية البصرية
G.699-G.680	خصائص الأنظمة البصرية
G.799-G.700	تجهيزات مطرافية رقمية
G.899-G.800	الشبكات الرقمية
G.999-G.900	الأقسام الرقمية وأنظمة الخطوط الرقمية
G.1999-G.1000	نوعية الخدمة وأداء الإرسال - الجوانب الخاصة والجوانب المتعلقة بالمستعمل
G.6999-G.6000	خصائص وسائط الإرسال
G.7999-G.7000	البيانات عبر شبكات النقل - الجوانب العامة
G.8999-G.8000	جوانب شبكة الإنترنت غير شبكات النقل
G.9999-G.9000	شبكات النفاذ

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

## تعريف وطرائق اختبار النعوت الإحصائية وغير الخطية للألياف والكبلات أحادية الأسلوب

### ملخص

تتضمن التوصية ITU-T G.650.2 تعريف المعلومات الإحصائية وغير الخطية للألياف والكبلات أحادية الأسلوب. كما تتضمن طرائق الاختبار المرجعي وطرائق الاختبار البديلة التي تسمح بتحديد خصائص هذه المعلومات. وقد أسقطت هذه الطبعة من التوصية طريقة حالة الاستقطاب (SOP) (البديل الأول لطريقة الاختبار).

### التسلسل التاريخي

الإصدار	التوصية	تاريخ الموافقة	لجنة الدراسات	المعرّف الفريد*
0.1	ITU-T G.650	1993-03-12	XV	<a href="http://handle.itu.int/11.1002/1000/879">11.1002/1000/879</a>
0.2	ITU-T G.650	1997-04-08	15	<a href="http://handle.itu.int/11.1002/1000/4017">11.1002/1000/4017</a>
0.3	ITU-T G.650	2000-10-06	15	<a href="http://handle.itu.int/11.1002/1000/5182">11.1002/1000/5182</a>
0.4	ITU-T G.650.1	2002-06-29	15	<a href="http://handle.itu.int/11.1002/1000/6072">11.1002/1000/6072</a>
0.4	ITU-T G.650.2	2002-06-29	15	<a href="http://handle.itu.int/11.1002/1000/6073">11.1002/1000/6073</a>
1.4	ITU-T G.650.1 (2002) Amd. 1	2003-03-16	15	<a href="http://handle.itu.int/11.1002/1000/6259">11.1002/1000/6259</a>
1.4	ITU-T G.650.2 (2002) Amd. 1	2003-03-16	15	<a href="http://handle.itu.int/11.1002/1000/6260">11.1002/1000/6260</a>
0.5	ITU-T G.650.1	2004-06-13	15	<a href="http://handle.itu.int/11.1002/1000/7319">11.1002/1000/7319</a>
0.5	ITU-T G.650.2	2005-01-13	15	<a href="http://handle.itu.int/11.1002/1000/7468">11.1002/1000/7468</a>
0.6	ITU-T G.650.2	2007-07-29	15	<a href="http://handle.itu.int/11.1002/1000/9152">11.1002/1000/9152</a>
0.6	ITU-T G.650.1	2010-07-29	15	<a href="http://handle.itu.int/11.1002/1000/10868">11.1002/1000/10868</a>
1.6	ITU-T G.650.1 (2010) Amd. 1	2012-10-29	15	<a href="http://handle.itu.int/11.1002/1000/11767">11.1002/1000/11767</a>
2.6	ITU-T G.650.1 (2010) Cor. 1	2013-08-29	15	<a href="http://handle.itu.int/11.1002/1000/11981">11.1002/1000/11981</a>
0.7	ITU-T G.650.2	2015-08-13	15	<a href="http://handle.itu.int/11.1002/1000/12528">11.1002/1000/12528</a>

\* للنفاد إلى التوصية، يُرجى كتابة العنوان <http://handle.itu.int/> URL في حقل العنوان في متصفح الويب لديكم، متبوعاً بمعرف التوصية الفريد. ومثال ذلك، <http://handle.itu.int/11.1002/1000/11830-en>.

## تمهيد

الاتحاد الدولي للاتصالات وكالة متخصصة للأمم المتحدة في ميدان الاتصالات وتكنولوجيات المعلومات والاتصالات (ICT). وقطاع تقييس الاتصالات (ITU-T) هو هيئة دائمة في الاتحاد الدولي للاتصالات. وهو مسؤول عن دراسة المسائل التقنية والمسائل المتعلقة بالتشغيل والتعريف، 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، تُعد المعايير اللازمة على أساس التعاون مع المنظمة الدولية للتوحيد القياسي (ISO) واللجنة الكهروتقنية الدولية (IEC).

## ملاحظة

تستخدم كلمة "الإدارة" في هذه التوصية لتدل بصورة موجزة سواء على إدارة اتصالات أو على وكالة تشغيل معترف بها. والتقييد بهذه التوصية اختياري. غير أنها قد تضم بعض الأحكام الإلزامية (بهدف تأمين قابلية التشغيل البيئي والتطبيق مثلاً). ويعتبر التقييد بهذه التوصية حاصلاً عندما يتم التقييد 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 التقييد 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 القرانن 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، 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) في الموقع <http://www.itu.int/ITU-T/ipr>.

© ITU 2017

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

## جدول المحتويات

الصفحة		
1	.....	1 مجال التطبيق
1	.....	2 المراجع
1	.....	3 مصطلحات وتعريف
1	.....	1.3 تشتت أسلوب الاستقطاب (PMD)
7	.....	2.3 أنماط طرائق الاختبار
7	.....	4 الاختصارات والأسماء المختصرة
8	.....	5 اصطلاحات
8	.....	6 طرائق الاختبار
9	.....	1.6 طرائق اختبار التشتت بأسلوب الاستقطاب
35	.....	2.6 طرائق اختبار النعوت غير الخطية
36	.....	التذييل I - تحديد مهلة التشتت PMD من مخطط التداخل
36	.....	1.I حساب القيمة التربيعية المتوسطة RMS في إطار إجراء التحليل TINTY
38	.....	2.I حساب القيمة التربيعية المتوسطة RMS في إطار التحليل GINTY
40	.....	التذييل II - النعوت غير الخطية
40	.....	1.II الخلفية
40	.....	2.II المنطقة الفعّالة ( $A_{eff}$ )
41	.....	3.II عامل التصحيح $k$
44	.....	4.II المعامل غير الخطي ( $n_2/A_{eff}$ )
44	.....	5.II انتشار بريلوين المستحث (SBS)
53	.....	6.II الآثار الأخرى
54	.....	التذييل III - طرائق اختبار المنطقة الفعّالة ( $A_{eff}$ )
54	.....	1.III تقنية مسح المجال البعيد (FFS)
56	.....	2.III تقنية الفتحة المتغيرة (VA)
60	.....	3.III تقنية مسح المجال القريب (NFS)
63	.....	التذييل IV - معلومات بشأن إحصاءات التشتت بأسلوب الاستقطاب
63	.....	1.IV مقدمة
64	.....	2.IV جمع البيانات
64	.....	3.IV حساب التشتت $PMD_0$ (مونت كارلو)
64	.....	4.IV حساب المهلة $DGD_{max}$ (مونت كارلو)
66	.....	بيليوغرافيا



## تعريف وطرائق اختبار النعوت الإحصائية وغير الخطية للألياف والكبلات أحادية الأسلوب

### 1 مجال التطبيق

تتضمن هذه التوصية تعريف وطرائق الاختبار المناسبة المطبقة أساساً على القياسات في المصانع للنعوت الإحصائية وغير الخطية للألياف والكبلات البصرية أحادية الأسلوب الموصوفة في توصيات قطاع تقييس الاتصالات [b-ITU-T G.652] و [b-ITU-T G.653] و [b-ITU-T G.654] و [b-ITU-T G.655] و [b-ITU-T G.656] و [b-ITU-T G.657]. وتعتبر هذه التعاريف وطرائق الاختبار عموماً غير ملائمة للألياف متعددة الأساليب، كما ورد وصفها في توصية قطاع تقييس الاتصالات [b-ITU-T G.651.1]. ويمكن أيضاً استعمال بعض طرائق الاختبار، عند الاقتضاء، لتمييز المكونات البصرية المستقلة على غرار تلك الموصوفة في توصية قطاع تقييس الاتصالات [b-ITU-T G.671]. وتتضمن التوصية [b-ITU-T G.650.1] تعريف وطرائق اختبار الخصائص الخطية الحتمية. ويمكن الاطلاع على طرائق التعويض عن الترددي الناجم عن التشتت بأسلوب الاستقطاب (PMD) في التوصية [b-ITU-T G.666].

### 2 المراجع

لا توجد.

### 3 مصطلحات وتعريفات

تعرف هذه التوصية المصطلحات التالية (للاطلاع على مزيد من المعلومات الأساسية، انظر المرجع [b-IEC/TR 61282-9]):

#### 1.3 تشتت أسلوب الاستقطاب (PMD)

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

**الملاحظة 1 -** في حالة الألياف التناظرية الدائرية المتلى، ينتشر أسلوب الاستقطاب بنفس السرعة. إلا أن الألياف الحقيقية لا يمكن أن تكون كاملة الاستدارة ويمكن أن تخضع لتوتر محلي؛ وبالتالي يقسم ضوء الانتشار إلى أسلوبين استقطاب محليين يترحلان 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.

**الملاحظة 2 -** توجد حالتان دائماً للاستقطاب المنتشر اعتباطياً في زمن معين وتردد بصري معين، يطلق عليهما الحالتان الرئيسيتان للاستقطاب (PSPs)، (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 حالي PSP، ويرتبط بالاختلاف في مهلة 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 حالي الاستقطاب التعامديتين اللتين لا تؤثران على استقطاب الخرج عند حدوث تغير طفيف في التردد البصري. وتكون حالتا الاستقطاب للدخل التعامدي المقابلتان حالي PSP للدخل.

**الملاحظة 1 -** تتغير الانكسارات المزدوجة المحلية في الألياف، وتتوقف الحالتان PSP على طول الليف (على نقيض الانكسار المزدوج الشديد).

**الملاحظة 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.

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

**3.1.3 مهلة انتشار المجموعة التفاضلية (DGD)؛**  $[\Delta\tau(v)]$  بوحدة ps: مهلة انتشار المجموعة التفاضلية (DGD) هي الاختلاف الزمني في مهلة زمرة الحالتين PSP.

تعتمد المهلة DGD بين حالي 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 للألياف الإرسال العادية. ومع تزايد التشتت PMD، تزايد 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 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، فالتغيرات في مهل DGD بموجة طويلة ضعيفة للغاية.

وتقاس مهلة انتشار المجموعة التفاضلية (DGD) بالبيكوثواني.

**4.1.3 قيمة تشتت أسلوب الاستقطاب PMD:** تعرف قيمة PMD باعتبارها القيمة الخطية  $\langle \Delta\tau \rangle$  لقيم DGD  $\Delta\tau(v)$  عبر مدى تردد بصري معين من  $v_1$  إلى  $v_2$ :

$$(1-3) \quad \text{PMD}_{\text{AVG}} = \langle \Delta\tau \rangle = \frac{\int_{v_1}^{v_2} \Delta\tau(v) dv}{v_2 - v_1}$$

يعرّف  $\text{PMD}_{\text{RMS}}$  باعتباره متوسط الجذر التربيعي (RMS)  $\langle \Delta\tau^2 \rangle^{1/2}$  لقيم مهلة انتشار الزمرة التفاضلية DGD البالغة  $\Delta\tau(v)$  على مدى تردد بصري معين من  $v_1$  إلى  $v_2$ ، كما يلي:

$$(2-3) \quad \text{PMD}_{\text{RMS}} = \langle \Delta\tau^2 \rangle^{1/2} = \left( \frac{\int_{v_1}^{v_2} \Delta\tau(v)^2 dv}{v_2 - v_1} \right)^{1/2}$$

**الملاحظة 1 -** لإثبات صحة المعادلتين 1-3 و 2-3، ينبغي أن يكون المدى من  $v_1$  إلى  $v_2$  واسعاً بما يكفي، من قبيل 100 nm تقريباً في مدى طول الموجة المقابل.

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

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

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. وتعتبر المعادلتان 1-3 و 2-3 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 فُطر منحنى متواصل منقوص 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).

### 5.1.3 معامالتشتت PMD: التشتت المقيس وفقاً لقياس الطول:

توجد صيغتان للتقيس، الأولى الاقتران بأسلوب عشوائي، تصاحب ألياف الإرسال العادية، والثانية اقتران بأسلوب جدير بالإهمال، يرتبط بألياف خاصة مثل ألياف المحافظة على الاستقطاب.

**1.5.1.3 الاقتران بأسلوب عشوائي:** بالنسبة للاقتران بأسلوب عشوائي، يكون معامالتشتت PMD هو قيمة  $PMD_{AVG}$  (أو  $PMD_{RMS}$ ) مقسوماً على الجذر التربيعي للطول ( $L^{1/2}$ ) ويعبر عنه عادةً بوحدات البيكوثواني على جذر الكيلومتر.

**2.5.1.3 الاقتران بأسلوب جدير بالإهمال:** بالنسبة للاقتران بأسلوب جدير بالإهمال، يكون معامالتشتت PMD هو قيمة  $PMD_{AVG}$  (أو  $PMD_{RMS}$ ) مقسوماً على الجذر التربيعي للطول ( $L$ ) ويعبر عنه عادةً بوحدات البيكوثواني بالكيلومتر أو الفيمتوثواني بالمتز.

### 6.1.3 تعاريف رياضية

يمكن وصف تشتت PMD من حيث متجهات ستوكس أو جونز. وتغير متجه جونز للخروج وفقاً للتردد البصري الزاوي،  $\omega = 2\pi\nu = 2\pi c/\lambda$ ، هو مصدر العطب. وجميع المعلمات والمتجهات والمصفوفات فيما يلي هي دوال تردد بصري زاوي. وفي الاعتبارات التالية يفترض أن تكون الإشارة مستقطبة تماماً وأن الخسارة الناجمة عن الاستقطاب (PDL) جديرة بالإهمال.

ويعرّف متجه جونز المقيس،  $\vec{j}$ ، ذو العنصرين المعقدين،  $j_x$  و  $j_y$  كما يلي:

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

حيث:

$\theta$  هو التوجه الخطي لمتجه جونز

$\mu$  هو الفصل في الطور بين عنصري متجه جونز

$i$  هي  $\sqrt{-1}$ ، الوحدة التخيلية

ويعرّف متجه ستوكس المقيس في الإحداثيات الديكارتية، المرقمة عادة بالأرقام 1، 2، 3، على النحو التالي:

$$(5-3) \quad \vec{s} = \begin{bmatrix} |j_x|^2 - |j_y|^2 \\ 2 \operatorname{Re}\{j_x j_y^*\} \\ -2 \operatorname{Im}\{j_x j_y^*\} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos 2\theta \\ \sin 2\theta \cos \mu \\ \sin 2\theta \sin \mu \end{bmatrix}$$

حيث:

$|j_x|^2 = j_x^* j_x$  هو مطال  $j_x$  التربيعي

$j_y^*$  هي المترافقة المعقدة للعنصر  $j_y$

**الملاحظة 1 -** تؤدي إشارة ناقص للإحداثية  $s_3$  في (المعادلة 5-3) إلى دوران متجهات ستوكس باتباع قاعدة اليد اليمنى. وهي لا تؤثر على قياسات DGD.

ويمكن أن ترتبط الإحداثيات الديكارتية  $s_1$  و  $s_2$  و  $s_3$ ، بالإحداثيتين الكرويتين  $\psi$  و  $\chi$  على النحو التالي:

$$(6-3) \quad \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ s_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \psi \cos \chi \\ \sin \psi \cos \chi \\ \sin \chi \end{bmatrix}$$

وبالعكس،

$$(7-3) \quad \tan \psi = \frac{s_2}{s_1}$$

$$(8-3) \quad \sin \chi = s_3$$

حيث:

$\psi$  هو خط الطول

$\chi$  هو خط العرض

الملاحظة 2 - يعرف  $\chi$  في بعض الأحيان بأنه  $\chi - \pi/2$ . وفي هذه الحالة، يجب أن يستعاض عن جيب  $\chi$  بجيب تمام  $\chi$ .

ومن المعادلات (5-3) إلى (8-3)، يمكن حساب متجه ستوكس في الإحداثيتين الكرويتين  $\psi$  و  $\chi$  بوصفه دالة  $\theta$  و  $\mu$ :

$$(9-3) \quad \tan \psi = \tan 2\theta \cos \mu$$

$$(10-3) \quad \sin \chi = \sin 2\theta \sin \mu$$

ويمكن وصف العلاقة، بالنسبة لتردد معين،  $\omega_0$ ، بين متجه ستوكس للدخل،  $\vec{s}_0$ ، ومتجه الخرج، باعتبارها مصفوفة دوران حقيقي ثلاثية الأبعاد،  $R$ ، بزاوية دوران  $\gamma_{ROT}$ ، ومتجه الدوران  $\vec{y}$ .

$$(11-3) \quad R = \vec{y} \vec{y}^T (1 - \cos \gamma_{ROT}) + I \cos \gamma_{ROT} + [\vec{y} \times] \sin \gamma_{ROT} \quad \text{حيث } \vec{s} = R \vec{s}_0$$

وبما أن متجه الدوران  $\vec{y}$  متجه عمود، فإن  $\vec{y}^T$  متجه صف و

$$\vec{y} \vec{y}^T = \begin{bmatrix} y_1^2 & y_1 y_2 & y_1 y_3 \\ y_1 y_2 & y_2^2 & y_2 y_3 \\ y_1 y_3 & y_2 y_3 & y_3^2 \end{bmatrix} \text{ is a matrix, } I \text{ is the identity matrix and}$$

$$[\vec{y} \times] = \begin{bmatrix} 0 & -y_3 & y_2 \\ y_3 & 0 & -y_1 \\ -y_2 & y_1 & 0 \end{bmatrix} \text{ is the cross-product operator.}$$

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

$$(12-3) \quad T = \begin{bmatrix} \cos \gamma_T - iy_1 \sin \gamma_T & -\sin \gamma_T (y_3 + iy_2) \\ \sin \gamma_T (y_3 - iy_2) & \cos \gamma_T + iy_1 \sin \gamma_T \end{bmatrix} \quad \text{حيث} \quad \vec{j} = T \vec{j}_0$$

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

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

$$(13-3) \quad \left. \frac{d\vec{s}(\omega)}{d\omega} \right|_{\omega_0} = \left. \frac{dR(\omega)}{d\omega} \right|_{\omega_0} R^T(\omega_0) \vec{s}(\omega_0) = \vec{\Omega} \times \vec{s}(\omega_0)$$

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

$$(14-3) \quad \left. \frac{d\vec{j}(\omega)}{d\omega} \right|_{\omega_0} = \left. \frac{dT(\omega)}{d\omega} \right|_{\omega_0} T \times (\omega_0) \vec{j}(\omega_0) = -\frac{i}{2} \begin{bmatrix} \Omega_1 & \Omega_2 - i\Omega_3 \\ \Omega_2 + i\Omega_3 & -\Omega_1 \end{bmatrix} \vec{j}(\omega_0)$$

ويمكن استعمال المعادلة (14-3) كمنطلق لتوسيع تايلر في المقام الأول لتغيير متجه جونز للخروج بالقرب من  $\omega_0$ .

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

$$(15-3) \quad \vec{\Omega} = 2 \frac{d\gamma_T}{d\omega} \vec{y} + \sin 2\gamma_T \frac{d\vec{y}}{d\omega} + 2 \sin^2 \gamma_T \left( \vec{y} \times \frac{d\vec{y}}{d\omega} \right) = \Delta\tau \vec{p}$$

ويمكن أن تُكتب المعادلة (14-3) على النحو التالي:

$$(16-3) \quad \left. \frac{d\vec{j}(\omega)}{d\omega} \right|_{\omega_0} = \left. \frac{dT(\omega)}{d\omega} \right|_{\omega_0} T \times (\omega_0) \vec{j}(\omega_0) = -\frac{i}{2} \Delta\tau V_p \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} V \times \vec{j}(\omega_0)$$

حيث:

$$V_p = \begin{bmatrix} \cos \theta_p \exp(-i\mu_p/2) & -\sin \theta_p \exp(-i\mu_p/2) \\ \sin \theta_p \exp(i\mu_p/2) & \cos \theta_p \exp(i\mu_p/2) \end{bmatrix}$$

$V_p^*$  هو المترافقة التبادلية للعنصر  $V_p$

$$\vec{p} = \begin{bmatrix} \cos 2\theta_p \\ \sin 2\theta_p \cos \mu_p \\ \sin 2\theta_p \sin \mu_p \end{bmatrix} \text{ ومنتجه تشتت الاستقطاب PSP هو}$$

وبافتراض أن حالات PSP لا تتغير مع التردد (على فاصل تردد ضيق،  $\omega_0$  و  $\omega_0 + \Delta\omega$ )، تمتلك المعادلة (14-3) حلاً بالقرب من  $\omega_0$ :

$$(17-3) \quad \hat{j}(\omega) = V_p \begin{bmatrix} \exp[-i\omega\Delta\tau/2] & 0 \\ 0 & \exp[i\omega\Delta\tau/2] \end{bmatrix} V_p \times \vec{j}(\omega_0) = J(\omega) \vec{j}(\omega_0)$$

حيث  $\omega$  هو الانحراف عن  $\omega_0$ .

وفي ترميز ستوكس، تطابق المعادلة (17-3) دوران زاوية  $\omega\Delta\tau$  حول PSP في كرة بوانكاريه (PS).

والمعادلة (17-3) 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 (5-3). ولنطلق عليه  $\vec{j}_p$ . ويمكن وضع هذه المصفوفة في الشكل الوارد في المعادلة (12-3)، بحيث تحل  $\omega\Delta\tau/2$  محل  $\gamma_T$  وتحل عناصر PSP محل عناصر متجه الدوران.

ويمكن إجراء تغيير في الإحداثيات في المعادلة (17-3) بحيث تصبح مصفوفة PSP في نظام الإحداثيات الجديد، مصفوفة الهوية. والعنصران  $x$  و  $y$  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  $\sigma$  (بالبيكوثواني)، وليف بتشتت لوني  $D$  البيكوثواني في كل نانومتر). ودالة قدرة الخرج الناتجة هي نبضة متقاسمة  $P(t)$ :

$$(18-3) \quad P(t) = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} \left\{ \exp\left[-\frac{(t - (\tau_G - \Delta\tau/2))^2}{2S^2}\right] u + \exp\left[-\frac{(t - (\tau_G + \Delta\tau/2))^2}{2S^2}\right] (1-u) \right\}$$

حيث  $\tau_G$  هو تأخر الزمرة من أجل  $u = 0,5$

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

$$u = [\vec{j}_p \times T(\omega_0) \vec{j}_0] \times [\vec{j}_p \times T(\omega_0) \vec{j}_0]$$

والاختلاف بين مراكز النبضة من أجل  $u = 0$  و  $u = 1$  هو  $\Delta\tau$ . ويقابل هذا الاختلاف زمن مهل DGD. ويمكن الحصول على قيم  $u$  هذه في حالة تراصف متجهه خرج جونز مع  $\vec{j}_p$  أو مع نظيره المتعامد، المتجه الذاتي الآخر. وجذر متوسط التربيع RMS لهذه النبضة يحصل عليه بالمعادلة التالية:

$$(19-3) \quad \text{RMS}_p = [S^2 + \Delta\tau^2 u(1-u)]^{1/2}$$

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

$$(20-3) \quad J(\Delta\omega) = T(\omega_0 + \Delta\omega) T^{-1}(\omega_0)$$

ويتضح من المعادلة (17-3) 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 (14-3) ويمكن أن يرتبط أيضاً بواقع أنه يبسر تنظيم متواصل خطي الطور لمتجه جونز في تردد واحد نحو التردد التالي الأعلى.

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

$$(21-3) \quad \gamma(\omega) = \omega\gamma_\omega + \omega^2\gamma'_\omega / 2$$

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

$$(22-3) \quad \mu_p(\omega) = \mu_{p0} + \omega\mu_{p\omega} \quad \text{و} \quad \theta_p(\omega) = \theta_{p0} + \omega\theta_{p\omega}$$

ويمكن أن يؤدي استعمال صيغة مثل المعادلة (20-3) للتردد العكسي، والتجزئة إلى قيم منفردة في المعادلة (17-3)، إلى بعض التقديرات الجبرية/المثلثية لمعلمات المعادلتين (21-3) و (22-3) المستمدة من البيانات المقيسة.

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

$$(23-3) \quad \vec{\Omega}_\omega = \frac{d\vec{\Omega}}{d\omega} = \frac{d\Delta\tau}{d\omega} \vec{p} + \Delta\tau \frac{d\vec{p}}{d\omega}$$

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

$$(24-3) \quad \langle \vec{\Omega}_\omega \cdot \vec{\Omega}_\omega \rangle = \left\langle \left( \frac{d\Delta\tau}{d\omega} \right)^2 \right\rangle + \left\langle \Delta\tau^2 \frac{d\vec{p}}{d\omega} \cdot \frac{d\vec{p}}{d\omega} \right\rangle = \frac{1}{3} \langle \Delta\tau^2 \rangle^2$$

والنسبة بين الحد الأول، الذي يتضمن مشتق DGD، إلى الحد الثاني، الذي يتضمن مشتق PSP هي 1 إلى 8. والحد الأول تفاعلي مع تشتت لوني والحد 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 (24-3) أنه يمكن حساب القيم من قيمة  $\text{PMD}_{\text{RMS}}$  وأن القياسات الفعلية ليست ضرورية.

7.1.3  $PMD_Q$ : في وصلة متسلسلة تتألف من أقسام كبل فردية عددها  $M$ ، تعرّف قيمة تصميم وصلة  $PMD_Q$ ، كقيمة  $PMD_Q$  التي يتجاوز عندها معامل وصلة  $PMD$ ،  $X_M$ ، باحتمال  $Q$ :

$$P(X_M > PMD_Q) = Q \quad (25-3)$$

$PMD_Q$  هي معلمة تمثل تطرف إحصائي لتوزيع قيم  $PMD$  الناتج عن تسلسل أقسام عددها  $M$  مختارة عشوائياً ذات قيم فردية لمعامل  $PMD$ . ويُحسب معامل وصلة  $PMD$  باستخدام صيغة متوسط التوزيع. ويعطى التطرف الإحصائي بمستوى ثقة يعرف بأنه  $1 - Q$  مع كون الاحتمال  $Q$  صغيراً. وفي حال  $Q = 10^{-4}$ ، هناك ثقة بنسبة 99,99% في أن يكون معامل  $PMD$  الفعلي لكبلات متسلسلة عددها  $M$  أقل من المعلمة  $PMD_Q$  أو مساوياً لها.

## 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 تتماشى مع تعريف هذه الخاصية ويسفر عنها نتائج قابلة للاستعادة ويمكن مقارنتها بتلك المستمدة من الطريقة المرجعية واستعمالها في الممارسة.

## 4 الاختصارات والأسماء المختصرة

تستعمل هذه التوصية الاختصارات التالية:

a.c.	تيار متناوب ( <i>alternating current</i> )
ASE	بث تلقائي مضخم ( <i>Amplified Spontaneous Emission</i> )
ATM	طريقة الاختبار البديلة ( <i>Alternative Test Method</i> )
DGD	مهلة انتشار المجموعة التفاضلية ( <i>Differential Group Delay</i> )
d.c.	تيار مستمر ( <i>direct current</i> )
DoP	درجة الاستقطاب ( <i>Degree of Polarization</i> )
DSF	الليف البصري أحادي الأسلوب المزحزح بالثشت ( <i>Dispersion-shifted Single-mode Fibre</i> )
EDFA	مكبر ألياف بصرية مشوب بالإريوم ( <i>Erbium-Doped Fibre Amplifier</i> )
FCFT	تحويل جيب تمام فورييه السريع ( <i>Fast Cosine Fourier Transform</i> )
FFP	مخطط الإشعاع في المجال البعيد ( <i>Far-Field Pattern</i> )
FFS	مسح المجال البعيد ( <i>Far-Field Scan</i> )
FUT	ألياف بصرية تحت الاختبار ( <i>Fibre Under Test</i> )
FWHM	العرض التام عند منتصف الارتفاع ( <i>Full Width at Half Maximum</i> )
GINTY	طريقة التحليل العام للقياس بالتداخل ( <i>General analysis for the interferometric method</i> )
JME	التحليل الذاتي بمصفوفة جونز ( <i>Jones Matrix Eigenanalysis</i> )
LED	ثنائي المسار بانبعث ضوئي ( <i>Light Emitting Diode</i> )

قُطر مجال الأسلوب (Mode Field Diameter)	MFD
نقط المجال القريب (Near-Field Pattern)	NFP
مسح المجال القريب (Near-Field Scan)	NFS
سلك أرضي بصري (OPTical Ground Wire)	OPGW
تششت أسلوب الاستقطاب (Polarization Mode Dispersion)	PMD
معلمة إحصائية لوصلة PMD (Statistical parameter for link PMD)	PMD <sub>0</sub>
ليف بصري محافظ على الاستقطاب (Polarization-Maintaining Fibre)	PMF
كرة بوانكاريه (Poincaré Sphere)	PS
تحليل بكرة بوانكاريه (Poincaré Sphere Analysis)	PSA
الحالتان الرئيسيتان للاستقطاب (Principal State of Polarization)	PSP
جذر متوسط التربيع (Root Mean Square)	RMS
طريقة الاختبار المرجعية (Reference Test Method)	RTM
انتشار بريلوين المستحث (Stimulated Brillouin Scattering)	SBS
ليف بصري أحادي الأسلوب (Single-Mode Fibre)	SMF
نسبة الإشارة إلى الضوضاء (Signal-to-Noise Ratio)	SNR
حالة الاستقطاب (State of Polarization)	SOP
تحليل تقليدي لطريقة القياس بالتداخل (Traditional analysis for the interferometric method)	TINTY
فتحة قابلة للتغيير (Variable Aperture)	VA
موهّن بصري قابل للتغيير (Variable Optical Attenuator)	VOA
تعدد إرسال بتقاسم طول الموجة (Wavelength Division Multiplexing)	WDM

## 5 الاصطلاحات

I/O-SOP حالة استقطاب إعدادات دخل وزوج متعامد من إعدادات محلل.

## 6 طرائق الاختبار

ترد طرائق الاختبار المرجعية (RTM) وطرائق الاختبار البديلة (ATM) هنا عادة بالنسبة لكل معلمة وكان الغرض هو أن تتلاءم الطريقتين RTM و ATM 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 (SNR)، إلخ.

## 1.6 طرائق اختبار التشتت بأسلوب الاستقطاب

تعطي جميع طرائق الاختبار قيمة التشتت PMD. ويكون تحويل معامل تشتت PMD حسب التعاريف الواردة في الفقرة 5.1.3. وتقتصر هذه الإجراءات على أطوال الموجة الأكبر من أو المساوية لتلك التي يكون فيها الليف أحادي الأسلوب بالفعل.

### 1.1.6 طريقة الاختبار المرجعية: تقنية تقييم معلمة ستوكس

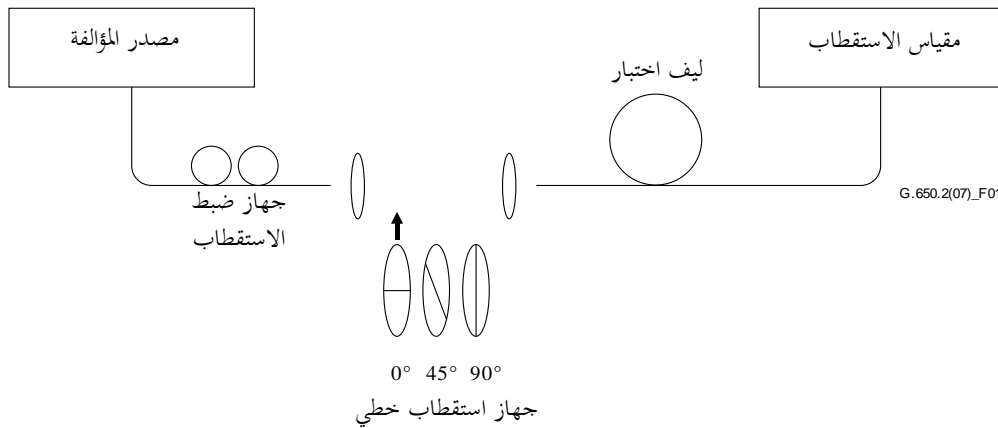
#### 1.1.1.6 اعتبارات عامة

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 المنحنيات والقيم الخاصة بالتحليل الذاتي بمصفوفة جونز (JME)، أو دوران متجه SOP على كرة بوانكاريه (PS). ويمكن تطبيقها على الألياف القصيرة والطويلة على السواء، بغض النظر عن اقتران أسلوب درجة الاستقطاب (DoP). وفي بعض الحالات، قد يكون من الضروري تكرار القياس لتحقيق دقة مرضية.

وعند قياس الألياف المتحركة (أي الألياف في سلك أرضي بصري (OPGW))، قد تكون طريقة القياس بالتداخل اختياراً أفضل لوظيفة تسوية النزاع لطريقة الاختبار المرجعية RTM.

#### 2.1.1.6 جهاز الاختبار

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



الشكل 1 - مخطط بياني للتجهيز (نمطي)

#### 1.2.1.1.6 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:

$$(1-6) \quad DoP = 100 \exp \left[ - \frac{1}{4 \ln 2} \left( \frac{\pi c \Delta \tau \Delta \lambda_{FWHM}}{\lambda_0^2} \right)^2 \right]$$

على افتراض أن الطيف الغوسي عرضه  $\Delta \lambda_{FWHM}$  يتمركز حول  $\lambda_0$  ويعبر عن DoP كنسبة مئوية، وحيث FWHM يرمز إلى عرض كامل في منتصف القيمة القصوى.

### 2.2.1.1.6 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 الدخول. ويتم ضبط الاستقطاب على النحو التالي: يضبط طول موجة الليزر المؤلف 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 يجري ضبط الاستقطاب بواسطة صفيحة مستقطبة.

### 3.2.1.1.6 أجهزة الاستقطاب

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

### 4.2.1.1.6 بصريات الدخول

يمكن استعمال نظام عدسة بصرية أو ضفيرة ليف بصري أحادي الأسلوب (SMF) لتنشيط الليف الخاضع للاختبار.

### 5.2.1.1.6 ضفائر الليف

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

### 6.2.1.1.6 نظام العدسات البصرية

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

### 7.2.1.1.6 كابيت 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.

### 8.2.1.1.6 بصريات الخرج

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

### 9.2.1.1.6 مقياس الاستقطاب

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

### 3.1.1.6 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 كرة بوانكاريه. وخلال فاصل زمني مقابل لزوج من القياسات المتتالية باستعمال مصفوفة جونز، ينبغي أن تكون التغييرات في خرج الاستقطاب صغيرة مقارنة بالتغيرات 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 المكبلية، تقليل الاقتران بأسلوب النشر المستحث إلى أدنى حد ممكن، وذلك لاستيفاء المتطلبات الأساسية لتشتت PMD<sub>0</sub> للألياف المكبلية. وفي هذه الحالة، يثبت الليف بطريقة ما (عادة على بكره يبلغ نصف قطر لفها 150 mm كحد أدنى)، مع قدرة شد ليف صفيرية أساساً (أقل من قوة 5 g بشكل عام)، وبدون شد عرضي. ويمكن أن تحد متطلبات النشر من الطول الممكن قياسه، ويعتمد ذلك على قطر الوشيعه، ويمكن أن يجعل القياس إجراء مدمراً. واللف متعدد الطبقات ممكن، ولكن بعد مقارنته بنتائج الطبقة الوحيدة، أو الأطوال الأقصر.



ولا يوصى بقياس الألياف غير المكبلية 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 مقياس الاستقطاب.

يختار فاصل طول الموجة  $\Delta\lambda$  الذي سيجرى عليه القياس. تحدد أقصى قيمة مسموحة لطول الموجة  $\Delta\lambda$  (نحو  $\lambda_0$ ) وفقاً للمعادلة التالية:

$$(2-6) \quad \Delta\tau_{\max} \Delta\lambda \leq \frac{\lambda_0^2}{2c}$$

حيث  $\Delta\tau_{\max}$  هي أقصى مهلة DGD متوقعة في مدى طول الموجة المقيسة. وعلى سبيل المثال، تبقى أقصى مهلة DGD وفاصل الموجة أقل من 4 ps nm عند 1 550 nm وأقل من 2,8 ps nm عند 1 300 nm. ويكفل هذا الاشتراط، أن تكون حالة خرج الاستقطاب أقل من 180 درجة على المحور الرئيسي لكرة بوانكاريه، عند اختبار طول إلى آخر. وإذا تعذر إجراء تقدير تقريبي 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 مقيسة بهذا الأسلوب في عامل أمان قدره ثلاثة، وتستبدل قيمة  $\Delta\tau_{\max}$  في الصيغة (2-6) الواردة 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 بيانات القياس. وبالنسبة لطول موجة مختارة، يدخل كل تجهيز استقطاب وتسجل معلمات ستوكس المقابلة من مقياس الاستقطاب.

#### 4.1.1.6 الحسابات وتفسير النتائج

يمكن بطريقتين (JME و PSA) تحليل معلمات جونز التي تم قياسها وفقاً للفقرة 3.1.1.6. وتسمح طريقتنا التحليل بدوران متجهات خرج ستوكس من تردد بصري إلى التردد البصري التالي. وتناسب مهلة DGD مع زاوية الدوران وتناسب 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، والمثلة على النحو التالي  $\vec{H}$  و  $\vec{Q}$  و  $\vec{V}$  والمميزة بزوايا نسبية للدخل الخطي لحالة الاستقطاب SOP قدرها 0° و 45° و 90° على التوالي.

وفي الفقرة 3.1.6 استعمل طول الموجة لوصف القياس. والتردد البصري الزاوي  $\omega = 2\pi c / \lambda$  (THz) هو أفضل مقياس للحساب. وترد فيما يلي حسابات لزوج وحيد من الترددات المتجاورة  $\omega_0$  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.

#### 1.4.1.1.6 تحليل ذاتي لمصفوفة جونز

بالنسبة لتردد معين، تستعمل المعادلة (3-5) لتحويل متجهات وحدات قياس ستوكس للخروج إلى متجهات جونز بافتراض أن  $0 \leq \theta \leq \pi$ . والعنصران المعقدان  $x$  و  $y$  لهذه المتجهات يشار إليهما على النحو التالي:  $h_x$  و  $h_y$  و  $q_x$  و  $q_y$  و  $v_x$  و  $v_y$ . وباستعمالها تحسب النسبة التالية:

$$(3-6) \quad k_4 = \frac{k_3 - k_2}{k_1 - k_3} \quad k_3 = q_x / q_y \quad k_2 = v_x / v_y \quad k_1 = h_x / h_y$$

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

وبالنسبة للتردد، تحسب مصفوفة تحويل جونز،  $T$ ، على النحو التالي:

$$(4-6) \quad T = \begin{bmatrix} k_1 k_4 & k_2 \\ k_4 & 1 \end{bmatrix}$$

ومصفوفة التحويل الحقيقية هي مصفوفة المعادلة (4-6) 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،  $J$ ، على النحو التالي:

$$(5-6) \quad J(\omega_0) = T(\omega_0 + \Delta\omega)T^{-1}(\omega_0)$$

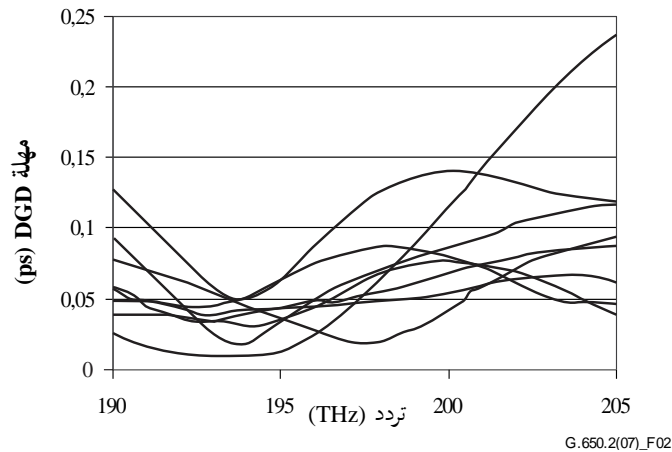
تُحسب القيمتان الذاتيتان،  $\rho_1(\omega_0)$  و  $\rho_2(\omega_0)$  للقيمة  $J(\omega_0)$ . وتحدد المهلة DGD،  $\Delta\tau(\omega_0)$  بالمعادلة التالية:

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

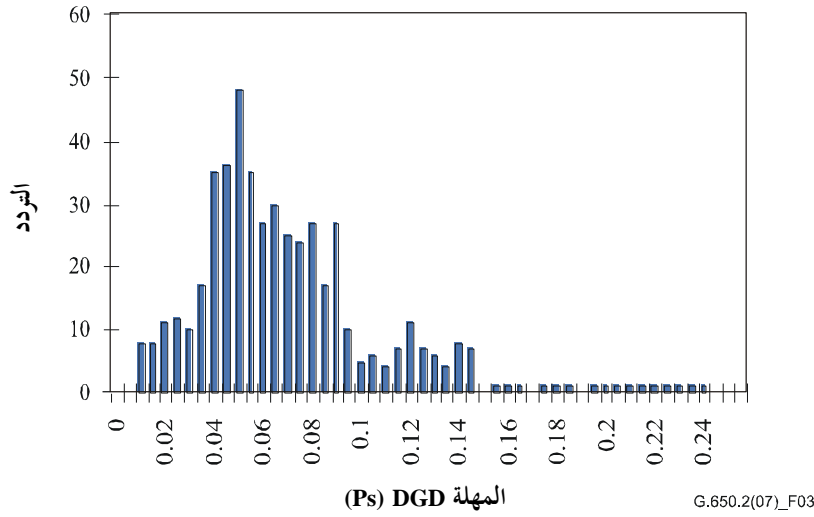
حيث

$$\arg(me^{i\theta}) = \theta \text{ و } m \text{ و } \theta \text{ حقيقي و } |\theta| > \pi.$$

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



الشكل 2 - بيانات مهلة انتشار المجموعة التفاضلية (DGD) كدالة للتردد



الشكل 3 - بيانات DGD كدالة مخطط درجي

#### 2.4.1.1.6 تحليل كرة بوانكاريه (PSA)

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

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

$$(7-6) \quad \vec{v} = \frac{\vec{q} \times \vec{V}}{|\vec{q} \times \vec{V}|} \times \vec{q}, \quad \vec{q} = \frac{\vec{H} \times \vec{Q}}{|\vec{H} \times \vec{Q}|} \times \vec{H}, \quad \vec{h} = \vec{H}$$

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

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

$$(8-6) \quad \begin{aligned} \Delta \vec{v} &= \vec{v}(\omega_0 + \Delta\omega) - \vec{v}(\omega_0) & \Delta \vec{q} &= \vec{q}(\omega_0 + \Delta\omega) - \vec{q}(\omega_0) & \Delta \vec{h} &= \vec{h}(\omega_0 + \Delta\omega) - \vec{h}(\omega_0) \\ \Delta \vec{c}' &= \vec{c}'(\omega_0 + \Delta\omega) - \vec{c}'(\omega_0) & \Delta \vec{c} &= \vec{c}(\omega_0 + \Delta\omega) - \vec{c}(\omega_0) \end{aligned}$$

تحدد مهلة DGD،  $\Delta\tau$ ، لزيادة في تردد معين، عن طريق المعادلة (9-6):

$$(9-6) \quad \Delta\tau = \frac{1}{\Delta\omega} \cdot \left[ \arcsin\left(\frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{2}(\Delta \vec{h}^2 + \Delta \vec{q}^2 + \Delta \vec{c}^2)}\right) + \arcsin\left(\frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{2}(\Delta \vec{q}^2 + \Delta \vec{v}^2 + \Delta \vec{c}'^2)}\right) \right]$$

ملاحظة -  $\Delta \vec{h}^2 = \Delta \vec{h} \cdot \Delta \vec{h}$

#### 5.1.1.6 تقديم النتائج

يتعين عرض التفاصيل التالية:

- أ) تعرف هوية العينة المقيسة.
- ب) طول العينة.
- ج) مدى طول الموجة الذي أجري عليها القياس، ومقاس 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 البيكوثواني. إذا كانت درجة اقتران الأسلوب معروفة، يعطى معامل التشتت PMD بوحدة البيكوثواني بالكيلومتر (اقتران بأسلوب جدير بالإهمال) أو البيكوثواني على جذر الكيلومتر (اقتران بأسلوب عشوائي).
- ح) عندما يحدد متوسط التشتت PMD من قياسات متكررة للعينة، يسجل عدد القياسات المنحزة.

### 2.1.6 البديل الأول لطريقة الاختبار: طريقة حالة الاستقطاب (SOP)

تبين أن هذه الطريقة ناقصة وبالتالي فقد أزيلت. ونتيجة لذلك، لا تصلح هذه الطريقة جوهرياً إلا في اقتران بأسلوب جدير بالإهمال، ولا تصلح في اقتران بأسلوب عشوائي. وللإطلاع على مزيد من المعلومات المتعلقة بنظرية PMD، انظر المرجع [b-IEC/TR 61282-9].

### 3.1.6 طريقة الاختبار البديلة الثانية: طريقة القياس بالتداخل

#### 1.3.1.6 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 بانبعثات ضوئي (LED)، وتركيبية من LED's ومصدر إرسال تلقائي مضخم (ASE) في النافذة 1 310 nm أو في النافذة 1 550 nm أو أي نافذة تمثل أهمية، وذلك وفقاً لاحتياجات المستعمل.

ويحدد التشتت PMD بواسطة مقياس التداخل الذي يتضمن وظيفة ارتباط تلقائي وارتباط متبادل بالمجال الكهرومغناطيسي الذي يصدره مطراف ليف بصري 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 فورييه.

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

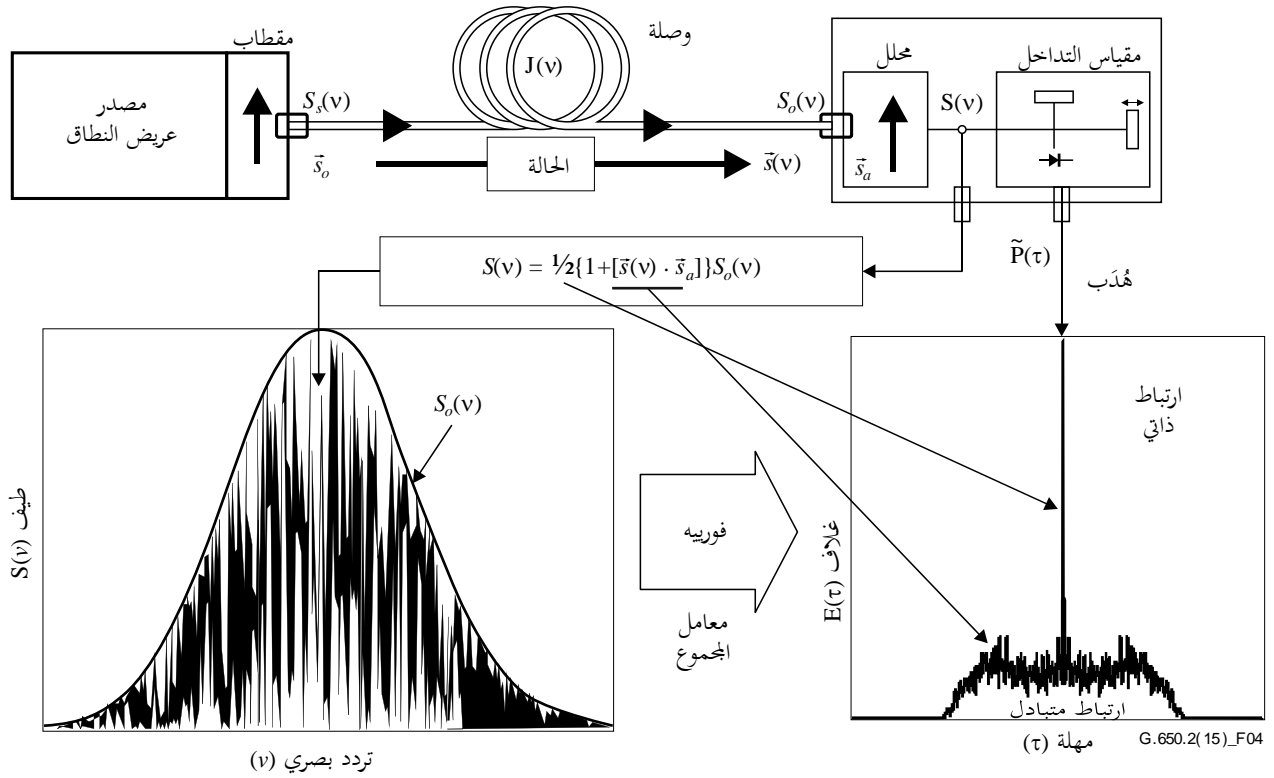
وتستعمل طريقة القياس بالتداخل لإجراءين للتحليل يترتب عليهما نتائج قياس مختلفة بعض الشيء:

- تستعمل طريقة التحليل التقليدي (TINTY) مجموعة من ظروف التشغيل المحددة تسمح بتطبيقات ناجحة وإنشاء أساسي؛
- طريقة التحليل العام (GINTY) لا تستعمل أية قيود ولكن تستعمل إنشاء أساسي يعدل مقارنة بطريقة التحليل التقليدي (TINTY).

#### 2.3.1.6 جهاز الاختبار

يرد في الشكل 4 إنشاء نوعي يعتبر أساساً للتطبيق التجريبي لطريقة تحليل INTY. والتغييرات في هذا الإنشاء ممكنة ومبينة في الشكل الوارد فيما يلي. ويمكن أن يكون جهاز القياس بالتداخل 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 5 و 6 و 7.

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



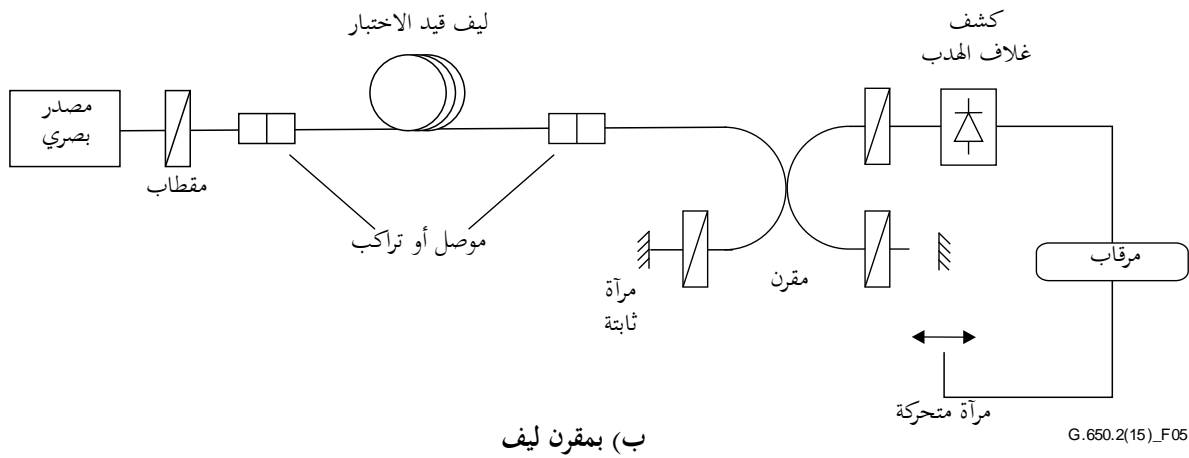
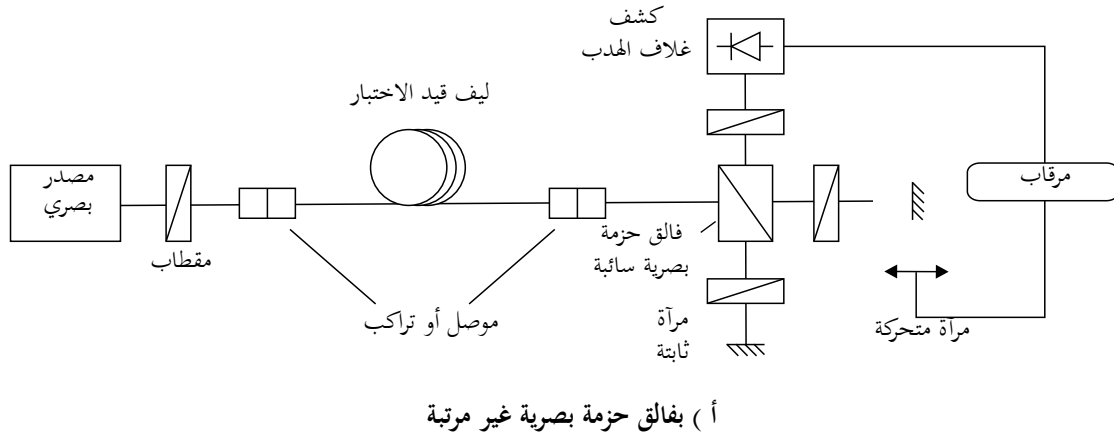
الشكل 4 - إنشاء نوعي لتقنية القياس بالتداخل

المعلومات المستعملة في الشكل 4 وفيما بعد في نص هذه الوثيقة هي:

$\nu$	تردد بصري ( $c = \lambda\nu$ )
$\tau$	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)
$\vec{s}_0$	دخل الحالة SOP (عند دخل الليف الخاضع للاختبار FUT؛ متجه ستوكس الوحدة)
$\vec{s}(\nu)$	خرج الحالة SOP (عند خرج الليف الخاضع للاختبار FUT)
$\vec{s}_a$	محور إرسال المحلل
$\vec{s}(\nu) \cdot \vec{s}_a$	معلمة ستوكس تعطي استقطاب $\vec{s}(\nu)$ على محور إرسال المحلل. وهذه المعلمة هي تلك التي تتضمن معلومة تشتت PMD
$P(\tau)$	القدرة البصرية عند خرج مقياس التداخل، كدالة للمهلة $\tau$
$\tilde{P}(\tau)$	الجزء المعتمد على $(\tau)$ (الجزء البديل "a.c.")
$P_0$	الجزء الثابت من $P(\tau)$ (الجزء المتواصل "d.c.")
$E(\tau)$	غلاف الهدب
$E_x(\tau)$	غلاف الارتباط المتبادل
$E_0(\tau)$	غلاف الارتباط التلقائي

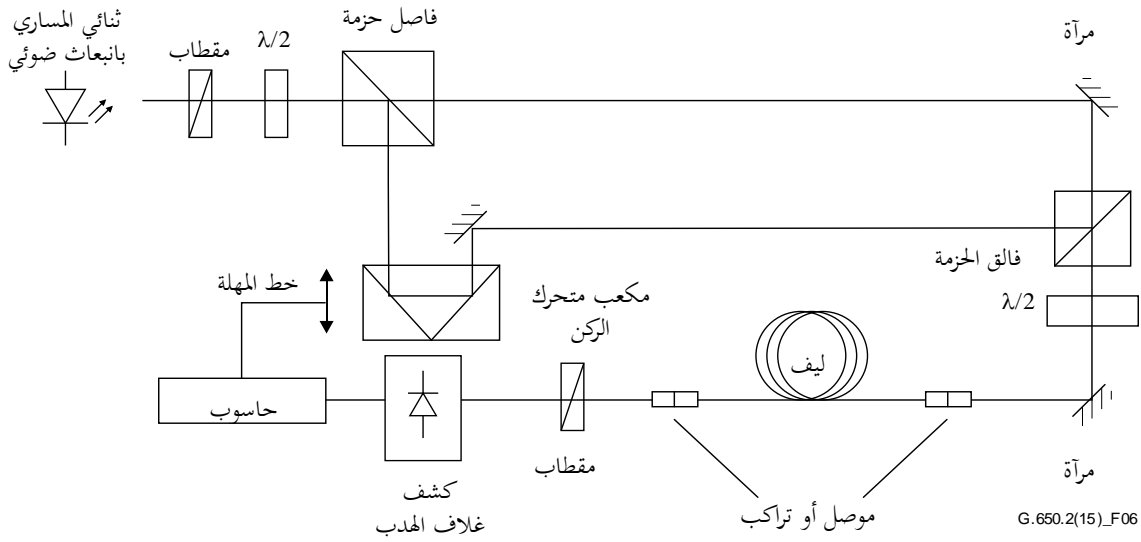
تساوي القدرة البصرية عند خرج مقياس التداخل،  $P(\tau)$ ، مجموع الجزئين "a.c." و "d.c.". والجزءان متساويان عند  $0 = \tau$  بحيث يمكن حساب الجزء "a.c.". والنسبة لمقياس تداخل نموذجي، يعتبر الجزء "a.c." دالة زوجية، يساوي جزئها الأيمن تحويل فورييه لجيب تمام الطيف البصري،  $S(\nu)$ ، الذي يثته المحلل. وبالنسبة لأجهزة قياس غير نموذجية، ينبغي إجراء بعض التصحيحات ويعتمد ذلك على تفاصيل التطبيق.

وفي حالة إجراء تحليل TINTY، غلاف القياس بالتداخل،  $E(\tau)$ ، هو القيمة المطلقة للجزء "a.c.". وفيما يتعلق بإجراء تحليل GINTY، يرد وصف للحسابات الإضافية للحصول على أغلفة الارتباط المتبادل والارتباط الذاتي في البند 2.4.3.1.6. وتنطوي هذه الحسابات على قياسين لقياس التداخلات الناشئة عن وضع المحلل في الحالتين SOP المتعامدتين. وترد إنشآت أخرى في الأشكال 5 و 6 و 7.

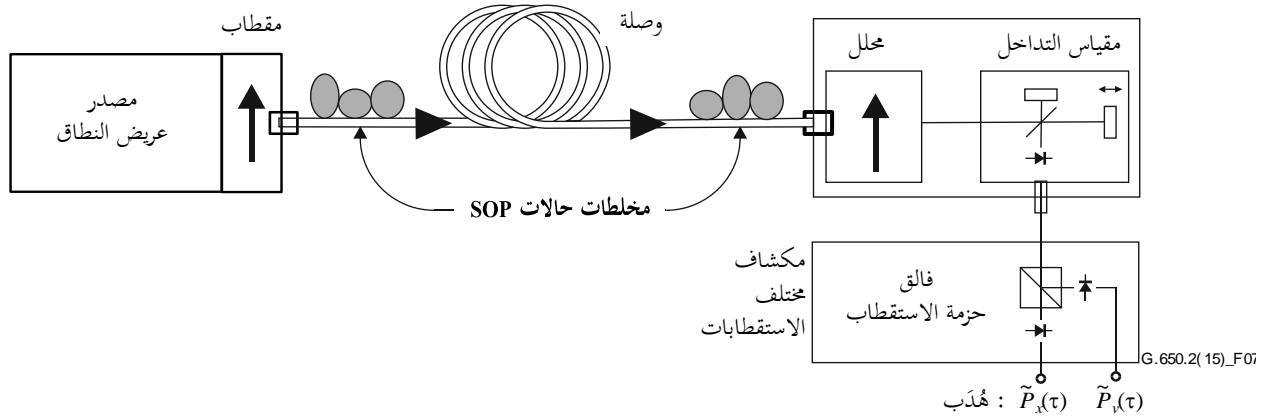


G.650.2(15)\_F05

الشكل 5 - طريقة القياس بالتداخل باستعمال مقياس تداخل ميكلسون



الشكل 6 - طريقة القياس بالتداخل باستعمال مقياس تداخل من نمط ماك زندر مع مسير هوائي



الشكل 7 - طريقة القياس بالتداخل (GINTY) باستعمال تخليط حالات دخل/خرج SOP ومكشاف مختلف الاستقطابات

### 1.2.3.1.6 المصدر البصري

يستعمل مصدر طيفي عريض الاستقطاب، مثل ثنائي المسار بانبعث ضوئي LED، ومجموعة فائقة من ثنائي المسار بانبعث ضوئي LED's أو مصدر بث 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 (10-6):

$$(10-6) \quad t_c = \frac{\lambda_0^2}{\Delta\lambda c}$$

حيث:

$\lambda_0$  هو طول الموجة المركزية للمصدر

$\Delta\lambda$  هو خط عرض المصدر

$c$  سرعة الضوء في الفراغ

### 2.2.3.1.6 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.

### 3.2.3.1.6 مخلفات الاستقطاب (اختيارية)

يسمح مخلط الاستقطاب، الوارد في الشكل 7، باختيار أي حالة SOP لدخل أو خرج الليف الخاضع للاختبار FUT. ويسمح فالق حزمة الاستقطاب بالكشف الآني عما يمكن كشفه بطريقتي التحليل المتعامدين. ويمكن تحقيق العنصر الوظيفي لمخلط حالات الاستقطاب، ومختلف حالات SOP للدخل ومختلف إنشاءات التحليل عند الخرج، بأساليب أخرى.

### 4.2.3.1.6 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 5-ب أو في شكل فالق حزمة بصرية غير مرتبة كما هو مبين في الشكل 5-أ.

### 5.2.3.1.6 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.

### 6.2.3.1.6 الحاسوب

يستعمل لتحليل مخططات التداخل حاسوب مزود بالبرمجيات الملائمة.

### 3.3.1.6 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<sub>0</sub>. وفي هذه الحالة، يدعم الليف بطريقة ما (على بكرة عادة بأدنى نصف قطر لف قدره 150 mm) وتوتر لليف قدره صفر عملياً (أقل من 0,05 N أو 5 g عادة)، وبدون شد مستعرض. ويمكن أن تحد متطلبات الانتشار هذه من الطول الذي يمكن قياسه، ويعتمد ذلك على قطر الوشيجة، 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 كبل بألياف ضعيفة التشتت PMD.

**ملاحظة -** بالنظر إلى أن عينة الاختبار هي ليف عادة، يمكن أن يجري 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).



### 4.3.1.6 الإجراء

يقترن طرف الليف البصري تحت الاختبار FUT بالخرج المستقطب لمصدر الضوء المستقطب. ويقترن الطرف الآخر بالأجهزة البصرية للخروج. ويمكن إجراء ذلك بواسطة وصلات ألياف معيارية، أو بجدل أو بنظام لتراصف الألياف. وإذا استعمل النظام الأخير، ينبغي استعمال زيت موادم المعامل لتجنب الانعكاسات.

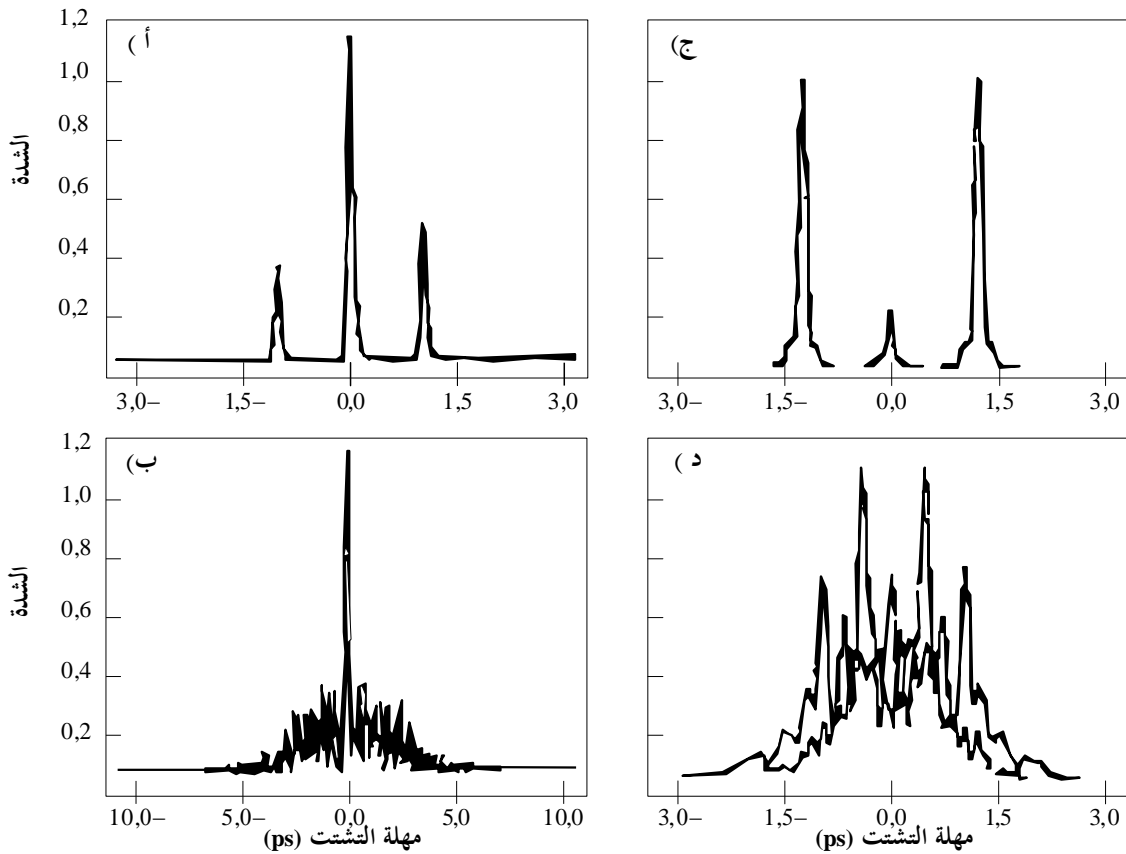
تكيف القوة البصرية لخروج مصدر الضوء بقيمة مميزة مرجعية لنظام الكشف المستعمل. وللحصول على تباين كافٍ للهدب، يجب أن تكون القوة البصرية للذراعين متماثلة تقريباً.

#### 1.4.3.1.6 إجراء تحليل TINTY

تجمع في المقام الأول البيانات وذلك بتحريك مرآة ذراع مقياس التداخل وتسجيل شدة الضوء. تطرح من مقياس التداخل القيمة الناتجة عن  $\tau = 0$  للحصول على  $\tilde{P}(\tau)$ . والقيمة المطلقة  $\tilde{P}(\tau)$  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 8 أمثلة لأنماط الهدب للاقتزان القوي والضعيف لأساليب الاستقطاب.

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



G.650.2(15)\_F08

الشكل 8 - مثال لمخططات هدب ناتج عن جهاز بنمط ارتباط ذاتي (a, b) وجهاز بنمط ارتباط متبادل (c, d) لاقتزان 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.

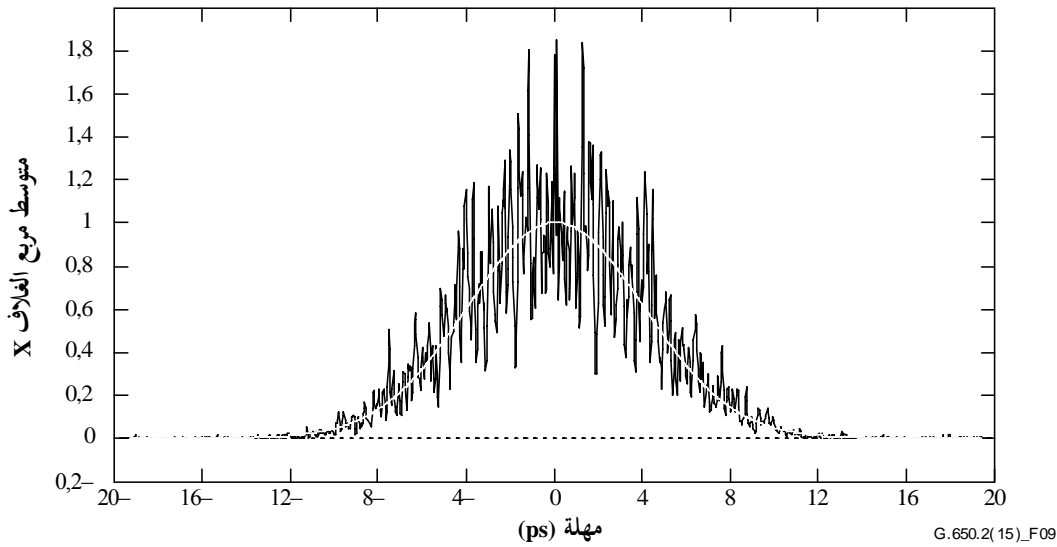
### 2.4.3.1.6 إجراء تحليل GINTY

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  $\tilde{P}_x(\tau)$  و  $\tilde{P}_y(\tau)$ ، الهدب الناتجة التعامدية.

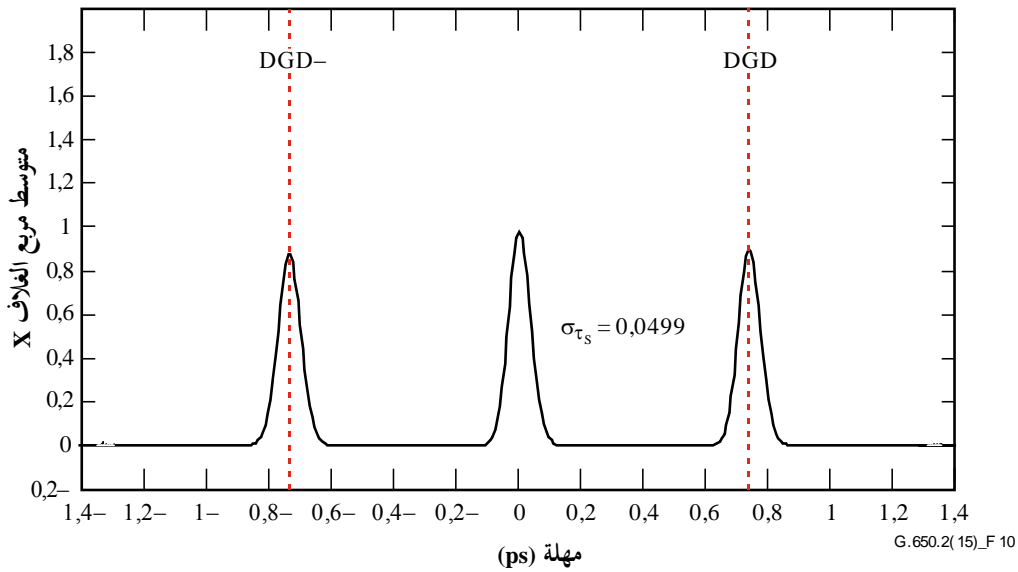
وتحسب أغلفة هدب الارتباط الذاتي والارتباط المتبادل  $E_x(\tau)$  و  $E_0(\tau)$  على النحو التالي:

$$(11-6) \quad E_x(\tau) = \left| \tilde{P}_x(\tau) - \tilde{P}_y(\tau) \right| \quad E_0(\tau) = \left| \tilde{P}_x(\tau) + \tilde{P}_y(\tau) \right|$$

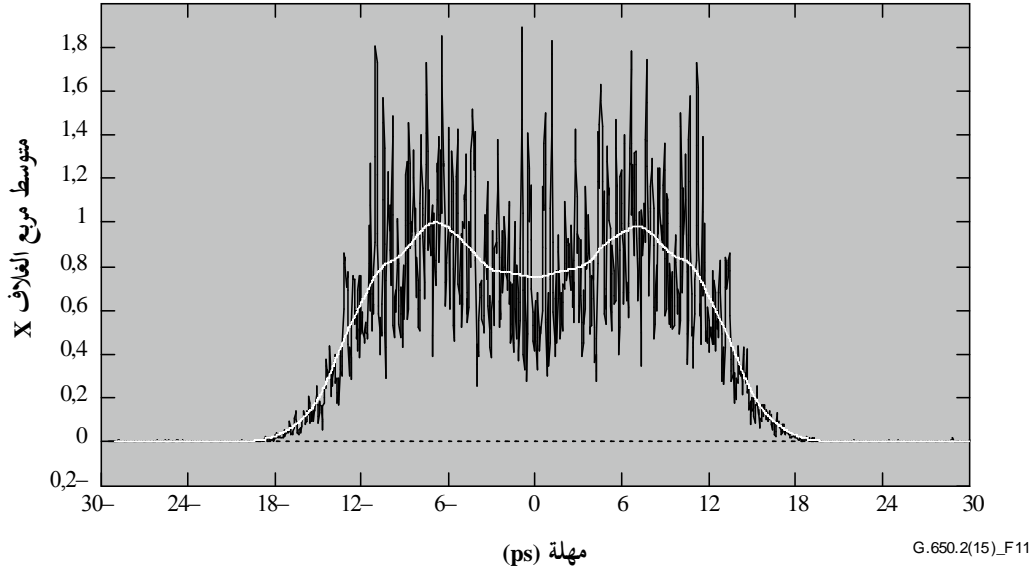
ويجري تربيع الدالتين لإجراء الحسابات اللاحقة وطريقة تمثيلها وتوضح الأشكال 9 و 10 و 11 أمثلة نتائج الارتباط المتبادل التربيعية. ويجدر ملاحظة أن ذروة الارتباط الذاتي الملاحظة في طريقة تحليل TINTY تُفتقد هنا.



الشكل 9 - مثال لمخطط هدب ناتج عن تحليل GINTY وتخليط حالات دخل/خرج SOP لاقتزان بأسلوب عشوائي



الشكل 10 - مثال لمخطط هدب ناتج عن تحليل GINTY وتخليط حالات دخل/خرج SOP لاقتزان بأسلوب جدير بالإهمال



الشكل 11 - مثال لمخطط هذب ناتج عن تحليل GINTY وتخليط حالات دخل/خرج SOP لاقتزان بأسلوب مختلط

ترد فيما يلي الخيارات الممكنة لخلط حالتي الاستقطاب. وحينما تقاس عدة حالات دخل/خرج SOP، يجب أن تسند إليها الدلالة  $i$ ، حيث  $i = 1, 2, 3, \dots$  من أجل الحسابات اللاحقة.

#### 1.2.4.3.1.6 زمرة موللر من 9 حالات

مجموع الأغلفة التسعة المربعة الملاحظة في الحالات التسع لدخل/خرج SOP تساوي بدقة الغلاف التريبيعي 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 بزواوية قائمة.

#### 2.2.4.3.1.6 التخليط العشوائي

تخليط من مسح إلى آخر: ضبط أوتوماتي/يدوي للمخلطات في كل مسح.

تخليط مستمر: حينما تجمع الأغلفة التريبيعية، 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 التريبيعية 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.

#### 5.3.1.6 الحسابات

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

#### 1.5.3.1.6 الحسابات في إطار إجراء التحليل TINTY

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

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

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

$$(12-6) \quad PMD_{RMS} = \left( \sqrt{\frac{3}{4}} \right) \sigma_{\varepsilon}$$

حيث:

$\sigma_{\varepsilon}$  هو عرض تربيعي متوسط RMS لغلاف الارتباط المتبادل.

يرد وصف خوارزمية تفصيلية لحساب  $\sigma_{\varepsilon}$  انطلاقاً من غلاف هدب موصوفة في الفقرة 1.I.

وبالنسبة لبعض الافتراضات الواردة أدناه، يمكن ربط المعادلة (12-6) بالمعادلة (2-3) على النحو التالي:

$$(13-6) \quad \langle \Delta\tau^2 \rangle = \frac{3}{4} \langle \sigma_{\varepsilon}^2 \rangle$$

وتستمد المعادلة (13-6) انطلاقاً من النظرية بواسطة الافتراضات التالية:

- اقتران بأسلوب عشوائي مثالي.
- **الملاحظة 1** - يعني اقتران عشوائي مثالي  $L/h \rightarrow \infty$ ، ومحور انكسار مزدوج بتوزيع منتظم.  $L$  هو طول الجهاز و  $h$  طول اقتران الاستقطاب. وبالنسبة لجهاز يتألف من قطع انكسار مزدوج متسلسلة  $N$  طولها  $h$ ، يطابق ذلك محاور موزعة بانتظام  $N \rightarrow \infty$ .
- **الملاحظة 2** - تحليل الاقتران بأسلوب معدوم (أو جدير بالإهمال) ممكن.
- مصدر غوسي محض، بدون تموجات.
- $\sigma_0 \ll PMD$

حيث:

$\sigma_0$  هو عرض RMS لغلاف الارتباط الذاتي؛

- ظروف مسرانية (صادقة التمثيل افتراضاً).
- **الملاحظة 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). وافترض 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.

### 2.5.3.1.6 الحسابات في إطار إجراء التحليل GINTY

يسمح إجراء تحليل GINTY بإزالة بعض الافتراضات المطلوبة في إجراء تحليل TINTY في المعادلة (13-6) 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  $\bar{E}_x^2(\tau)$  و  $\bar{E}_0^2(\tau)$  بواسطة المعادلة:

$$(14-6) \quad \bar{E}_0^2(\tau) = \frac{1}{N} \sum_i E_{0i}^2(\tau) \quad \bar{E}_x^2(\tau) = \frac{1}{N} \sum_i E_{xi}^2(\tau)$$

حيث  $N$  هو عدد حالات دخل/خرج SOP.

يحسب عرض RMS لغلانفي المعاينة بمتوسط تربيعي  $\sigma_0$  و  $\sigma_x$  على التوالي. ويرد في الفقرة 2.I مثال لخوارزمية تسمح بهذا الحساب. والتعاريف الرياضية لهذه الأعراس هي:

$$(15-6) \quad \sigma_0^2 = \frac{\int \tau^2 \langle E_0^2(\tau) \rangle d\tau}{\int \langle E_0^2(\tau) \rangle d\tau} \quad \sigma_x^2 = \frac{\int \tau^2 \langle E_x^2(\tau) \rangle d\tau}{\int \langle E_x^2(\tau) \rangle d\tau}$$

ومؤثر القيمة المتوقعة في المعادلتين أعلاه يتعلق بمعاينة موحدة وعشوائية لحالات دخل/خرج SOP. ويعبر عن قيمة تشتت PMD<sub>RMS</sub> على النحو التالي:

$$(16-6) \quad \text{PMD}_{\text{RMS}} = \left[ \frac{3}{2} (\sigma_x^2 - \sigma_0^2) \right]^{1/2}$$

وترتبط المعادلة (16-6) بالمعادلة (2-3) على النحو التالي:

$$(17-6) \quad \frac{\int \Delta\tau^2(v) S_0^2(v) dv}{\int S_0^2(v) dv} = \frac{3}{2} (\sigma_x^2 - \sigma_0^2)$$

وباستعمال التعاريف المثالية للمصطلحات المتعلقة بالعرض التربيعي المتوسط للمعادلة (15-6)، تعتبر المعادلة (17-6) صحيحة لأي منحني DGD موجود وقت القياس وأي خصائص طيفية للمصدر. واستنتج الجزء الوارد على يسار المعادلة (17-6) من متوسط القيمة التربيعية المتزنة الطيفية (بقدره تربيعية).

وباستعمال افتراض الظروف المسرانية يستنتج ما يلي:

$$(18-6) \quad \langle \Delta\tau^2 \rangle = \left\langle \frac{\int \Delta\tau^2(v) S_0^2(v) dv}{\int S_0^2(v) dv} \right\rangle$$

### 6.3.1.6 عرض النتائج

يتعين عرض النتائج التالية:

- أ) التاريخ.
- ب) تعرف هوية الليف.
- ج) نمط الليف.
- د) طول الليف.
- هـ) ترتيبات إجراء الاختبار، بما في ذلك نمط المصدر وطول الموجة وعرض الخط (FWHM).
- و) تقنية الإطلاق.
- ز) نمط تقنية كشف الهدب.
- ح) المخطط المقابل للمدى المسوح 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<sub>RMS</sub> بالبيكوثواني أو PMD<sub>AVG</sub> (يحدد أي تشتت) بالبيكوثواني ومعامل تشتت PMD. إذا كانت درجة أسلوب الاقتران معروفة، يمكن التعبير عن هذا المعامل بالبيكوثواني بالكيلومتر أو البيكوثواني على جذر الكيلومتر.

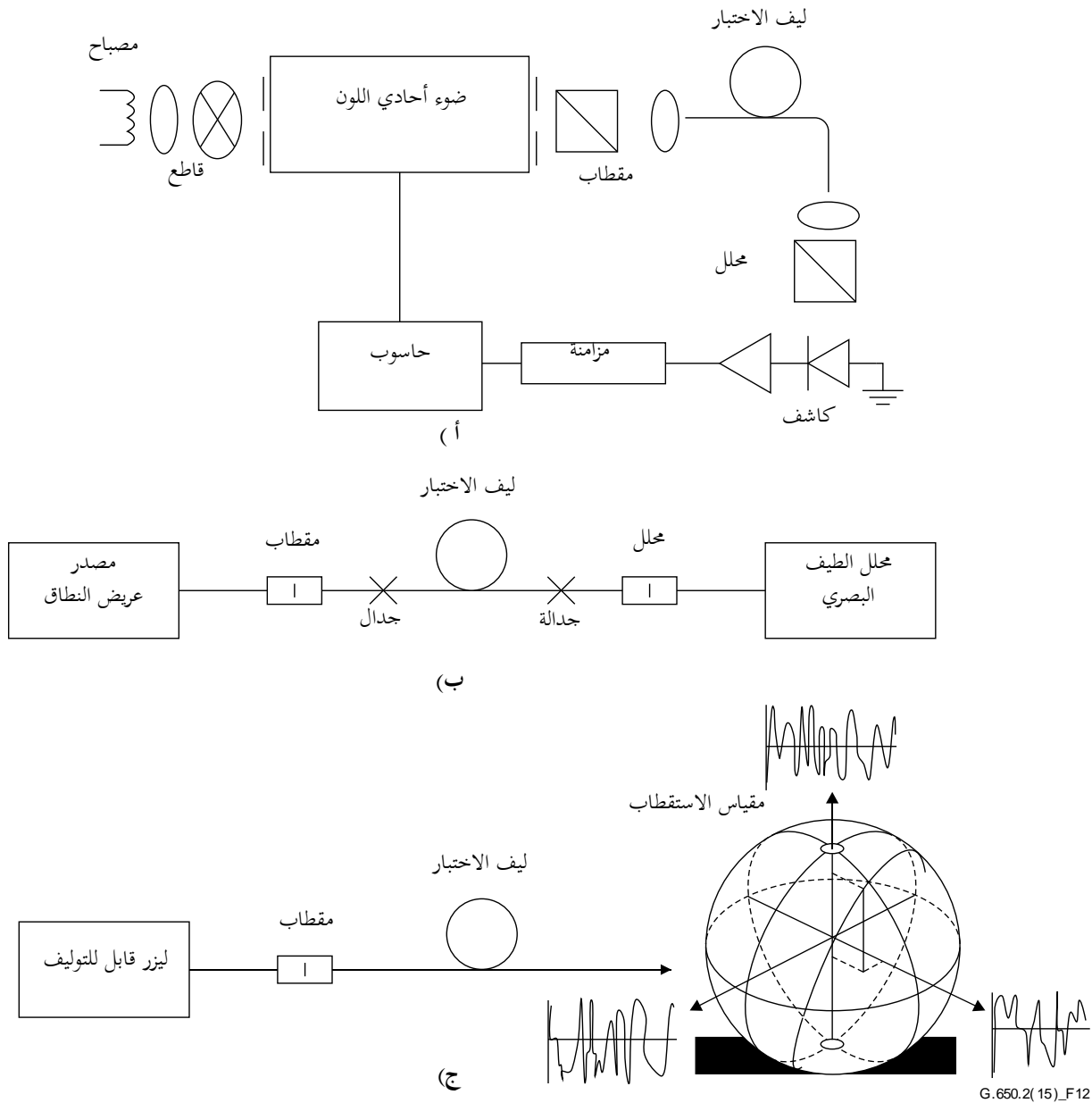
## 4.1.6 طريقة الاختبار البديلة الثالثة: تقنية المحلل الثابت

### 1.4.1.6 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 جدير بالإهمال أو عشوائي. 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.

### 2.4.1.6 جهاز الاختبار

انظر المخطط البياني في الشكل 12 للمكونات الرئيسية في نظام قياس نمطي.



الشكل 12 - مخطط بياني للتجهيز (نمطي)

#### 1.2.4.1.6 مصدر الضوء

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

#### 2.2.4.1.6 ضوء أحادي اللون

يحصل على مجموعة محددة من أطوال موجة الاختبار بواسطة ترشيح مصدر الضوء بضوء أحادي اللون وفقاً للشكل 12-أ أو باستعمال محلل بصري للطيف ككاشف وفقاً للشكل 12-ب. ويعتبر هذا الترشيح غير ضروري عندما يكون المصدر ليزر قابل للتوليف (انظر الشكل 12-ج). ويجب أن يكون التوزيع الطيفي ضيقاً بما يكفي بحيث يتجنب إزالة الاستقطاب الرئيسي للإشارة تحت تأثير التشتت PMD لليف الخاضع للاختبار (انظر الفقرتان 4.1.4.4.1.6 و 8.2.4.4.1.6).

#### 3.2.4.1.6 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 فائق زاوي. وتكون الضفائر أحادية الأسلوب.

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

#### 4.2.4.1.6 كابت أسلوب الغمد

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

#### 5.2.4.1.6 بصريات الخرج

يجب أن تقترن كامل القدرة المنبعثة من ليف الاختبار بالمنطقة النشطة لنظام الكشف (انظر الشكل 12). 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.

#### 6.2.4.1.6 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 يشمل مدى طول الموجة لنظام الكشف عن أطوال الموجة الناتجة عن مصدر الضوء، وذلك لاستعمال كامل المدى الطيفي للمصدر.

#### 7.2.4.1.6 مقياس الاستقطاب والمحلل

لا يكون مقياس الاستقطاب عند دخل الليف ضرورياً (الشكل 12) 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 مقياس الاستقطاب مفيدة في الاقتران بأسلوب ضعيف، وذلك بتنظيم اتساع التذبذب الوارد في الشكل 13-أ. ويمكن تحقيق ذلك بتدوير الليف (الألياف) عند جدالة أو الموصلات.

لا توجد ضرورة للمحلل في حالة استعمال مقياس الاستقطاب لكشف الإشارة (الشكل 12-ج)).

#### 3.4.1.6 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 بالتغيرات 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  $PMD_0$  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 الوشيعه، 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  $\lambda$  بدوره في الليف. ويعتمد اختيار أطوال الموجات على مدى المسح المعين لطول الموجة وكذلك على طريقة التحليل (انظر الفقرتان 1.4.4.1.6 و 2.4.4.1.6).

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

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

$$(19-6) \quad R(\lambda) = \frac{P_A(\lambda)}{P_{TOT}(\lambda)}$$

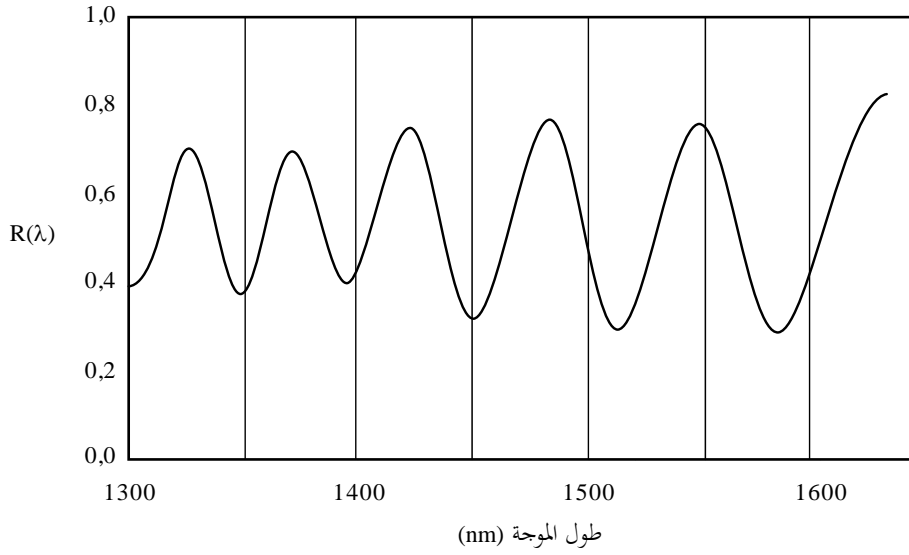
كما هو مبين في الشكل 13.

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

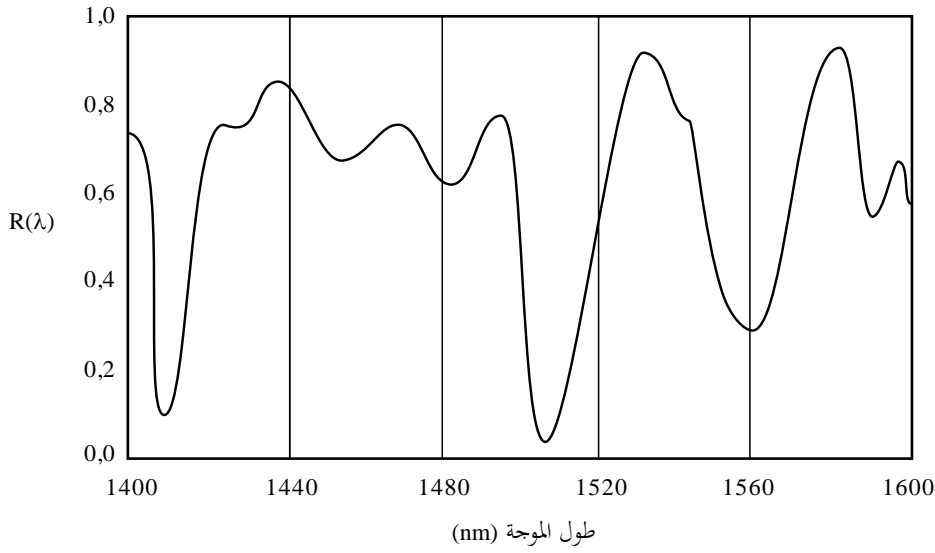
$$(20-6) \quad R(\lambda) = \frac{P_A(\lambda)}{P_A(\lambda) + P_{ROT}(\lambda)}$$

إذا استعمل مقياس الاستقطاب كعنصر للكشف، تقاس معلمات ستوكس المعايرة مقابل طول الموجة. وتعتبر الوظائف الطيفية الثلاث مستقلة عن القدرة المستقبلية وتحلل بنفس الطرائق المطبقة على  $R(\lambda)$  (انظر الفقرتان 1.4.4.1.6 و 2.4.4.1.6). وتقود كل معلمة ستوكس المعايرة إلى قيمة  $\langle \Delta\tau \rangle$ .





أ) اقتران بأسلوب ضعيف



ب) اقتران بأسلوب قوي

G.650.2(15)\_F13

### الشكل 13 - البيانات النمطية الناتجة عن قياس التشتت PMD

#### 4.4.1.6 الحسابات وتفسير النتائج

تستعمل إحدى الطريقتين التاليتين (الفقرتان 1.4.4.1.6 و 2.4.4.1.6) لحساب التشتت PMD من بيانات القياس.

#### 1.4.4.1.6 حساب القيم القصوى

#### 1.1.4.4.1.6 معامل التشتت PMD

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

$$(21-6) \quad \langle \Delta\tau \rangle = \frac{k E \lambda_1 \lambda_2}{2(\lambda_2 - \lambda_1)c}$$

حيث  $c$  هي سرعة الضوء في الفراغ، و  $k$  عامل اقتران الأسلوب يساوي 1,0 في اقتران الأسلوب الجدير بالإهمال (انظر الفقرة 2.5.1.3) و 0,82 في حد اقتران بأسلوب عشوائي (انظر الفقرة 1.5.1.3).

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

#### 2.1.4.4.1.6 الدقة

يمكن الحصول على أفضل دقة عن طريق توسيع  $(\lambda_1 - \lambda_2)$  بما يكفي لضمان أن  $E \ll 1$ . وهذا الأمر مهم بوجه خاص في حالة وجود اقتران بأسلوب عشوائي (الشكل 13-ب)) وأقل من ذلك (الشكل 3-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).

#### 3.1.4.4.1.6 تعرف هوية الذروة

يمكن أن تتزايد صعوبة تعرف هوية القيم القصوى في  $R(\lambda)$  في وجود ضوضاء و/أو اقتران بأسلوب عشوائي. يلاحظ ذلك في المثال الوارد في الشكل 13-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.

#### 4.1.4.4.1.6 الاستبانة الطيفية

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

$$(22-6) \quad \Delta\lambda / \lambda < (8\nu\Delta\tau)^{-1}$$

حيث  $\nu$  هي التردد البصري، و  $\Delta\lambda$  عرض طيفي مفيد أو مقياس درجة طول الموجة، أيهما أكبر. وبالنسبة لقيمة  $\lambda$  المجاورة للقيمة 1 550 nm، تخفض المعادلة (22-6) حتى تصبح قيمة  $\Delta\lambda$  بالنانومترات أقل من القيمة المعكوسة ل  $\Delta\tau$  بالبيكوثواني.

#### 2.4.4.1.6 تحليل فورييه

#### 1.2.4.4.1.6 نظرة شاملة

يعبر عن تحليل فورييه  $R(\lambda)$  في هذه الطريقة عادة في ميدان التردد البصري،  $\nu$ ، ويستعمل في اشتقاق PMD. يحول تحويل فورييه هذه البيانات لميدان التردد البصري إلى الميدان الزمني. ويؤدي تحويل فورييه إلى معلومات مباشرة حول توزيع أوقات وصول الضوء  $\delta\tau$ . وتعالج هذه البيانات بعد ذلك وفقاً للوصف الوارد أدناه لاشتقاق التشتت PMD المتوقع،  $\langle \Delta\tau \rangle$ ، بالنسبة لليف الخاضع للاختبار. وتطبق هذه الطريقة على الألياف ذات أسلوب الاقتران الجدير بالإهمال أو العشوائي. (ترجى الإحالة إلى الفقرتين 4.2.4.4.1.6 و 5.2.4.4.1.6 على التوالي).

#### 2.2.4.4.1.6 المعالجة المسبقة للبيانات وتحويل فورييه

يتطلب تحويل فورييه عادة فترات زمنية متساوية في التردد البصري، لاستعمال هذه الطريقة، بحيث تجمع بيانات  $R(\lambda)$  وفقاً للوصف الوارد في (3.4.1.6) عند قيم  $\lambda$  لتكون فترات زمنية متساوية في ميدان التردد البصري. وينطوي الحل الآخر البديل، على مواءمة البيانات المأخوذة على فترات زمنية  $\lambda$  متساوية (باستعمال نسق حزة مكعبة مثلاً) ويستكمل التركيب لتوليد هذه النقاط، أو تستعمل تقنيات تقدير طيفي أكثر تطوراً. وفي كل حالة، تحسب النسبة  $R(\lambda)$  عند كل قيمة  $\lambda$  مستعملة في المعادلتين 6-19 أو 6-20 حسب الاقتضاء.

يمكن إجراء الحشو صفر أو استكمال البيانات وإزالة السوية DC على بيانات النسبة  $R(\lambda)$ . ويمكن استعمال نوافذة البيانات كخطوة مسبقة قبل تحويل فورييه. ويجرى تحويل فورييه لإعطاء توزيع بيانات الاتساع  $P(\delta\tau)$  لكل قيمة  $\delta\tau$ .

### 3.2.4.4.1.6 موازنة بيانات التحويل

تكون بيانات التحويل فوريه عند القيمة صفر  $\delta\tau$  قليلة الدلالة، حيث إنه ما لم تُزل بعناية، يمكن للمكونات DC في  $R(\lambda)$  أن تنجم جزئياً عن خسارة إدراج المحلل مثلاً. وعندما لا تسحب السوية المستمرة DC، تمرر بتفريضة قد تصل إلى نقطتين من البيانات (لا تُستعمل) عموماً، في أي حسابات أخرى. ويعرّف المتغير،  $z$ ، بحيث تكون قيمة "أول حزمة صالحة" فوق الصفر  $\delta\tau$  المدرج في الحسابات المطابقة عند  $z = 0$ .

تقارن قيمة  $P(\delta\tau)$  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 اقتزان أسلوب الليف جديراً بالإهمال أم عشوائياً.

وإذا تبين أن النقاط الصالحة  $X$  للقيمة  $P(\delta\tau)$  جميعها أدنى من  $T_1$ ، يشير ذلك إلى أنه يجب أن يكون للقيمة  $P(\delta\tau)$  خصائص جموح كامنة للألياف ذات الاقتزان الضعيف. وتكون قيمة  $X$  هي  $3 (X = 3)$ ، إلا في حالة استعمال الحشو صفر في تحليل فوريه. وفي هذه الحالة، يمكن تحديد قيمة  $X$  من 3 مضروبة بعدد نقاط البيانات الأصلية ومقسومة على إجمالي طول الليف بعد الحشو صفر. ويستعمل البند 4.2.4.4.1.6 لحساب التشتت PMD. وإذا لم يكن الأمر كذلك، تحسب قيمة التشتت PMD باستعمال البندين 5.2.4.4.1.6 أو 6.2.4.4.1.6.

### 4.2.4.4.1.6 حساب التشتت PMD للألياف باقتزان الأسلوب الجدير بالإهمال

بالنسبة لليف مقترن بأسلوب جدير بالإهمال (أي ليف عالي الانكسار المزدوج) أو مكون بانكسار، تشبه  $R(\lambda)$  موجة جيئية مشكلة (الشكل 13-أ). يعطى تحويل فوريه خرج  $P(\delta\tau)$  يتضمن جموح منفصل عند موقع مطابق لوقت وصول النبضة النسبي  $\delta\tau$ ، وتكون قيمة  $\langle\Delta\tau\rangle$  للتشتت PMD هي مركزه.

لتعريف قيمة مركز الجموح  $\langle\Delta\tau\rangle$ ، تستعمل قيم النقاط  $P(\delta\tau)$  التي تتجاوز السوية الثانية للعتبة المحددة مسبقاً  $T_2$ ، الموضوعه عادة عند 200% من متوسط الجذر التربيعي لسوية ضوضاء نظام الكشف، في المعادلة (6-23):

$$(23-6) \quad \langle\Delta\tau\rangle = \frac{\sum_{e=0}^{M'} [P_e(\delta\tau)\delta\tau_e]}{\sum_{e=0}^{M'} [P_e(\delta\tau)]}$$

حيث  $M' + 1$  هي عدد نقاط البيانات  $P$  الذي يشكل جزءاً من النقطة التي تتجاوز  $T_2$ . تكون قيمة  $\langle\Delta\tau\rangle$  في المعادلة (6-23) عادة بوحدات بيكو ثانية. ويمكن حساب معامل التشتت PMD بواسطة الفقرة 2.5.1.3 إذا كان الجهاز الخاضع للاختبار ليفاً طوله  $L$ . وإذا لم يُكشف جموح (أي  $M' = 0$ )، عندئذ يكون التشتت PMD صفر. ويمكن الإفادة بمعلمات أخرى مثل اتساع متوسط الجذر التربيعي للجموح أو قيمة ذروة الجموح.

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

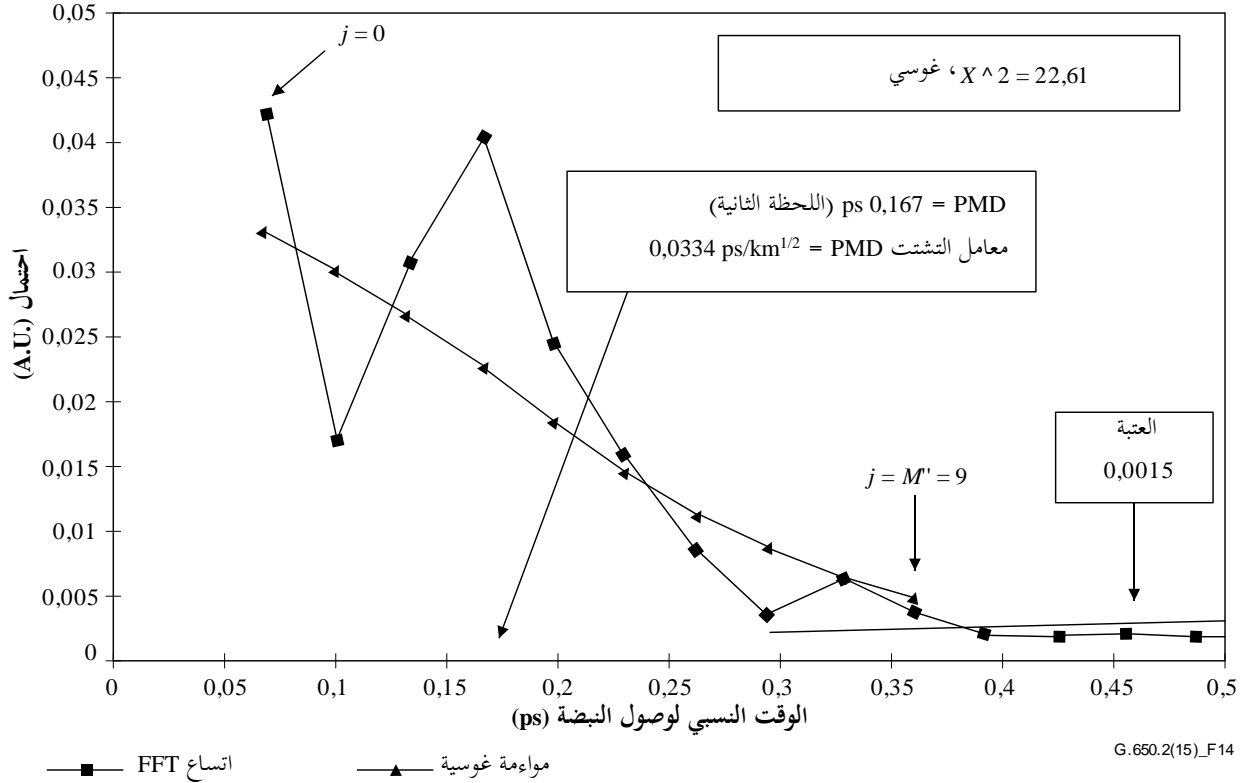
### 5.2.4.4.1.6 حساب التشتت PMD للألياف باقتزان الأسلوب العشوائي

تصبح القيمة  $R(\lambda)$  في حالة الاقتزان بأسلوب عشوائي شكلاً معقداً للموجة يماثل ما ورد في الشكل 13-ب، وتستند الخصائص الدقيقة على الإحصاءات الفعلية لعملية الاقتزان داخل الليف أو الكبل. وتصبح بيانات تحويل فوريه توزيعاً  $P(\delta\tau)$  يمثل الارتباط الذاتي لتوزيع الاحتمال في زمن وصول نبض الضوء  $\delta\tau$  في الليف.

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

$$(24-6) \quad \langle \Delta\tau \rangle = \sigma_R = \left\{ \frac{\sum_{j=0}^{M''} [P_j(\delta\tau) \delta\tau_j^2]}{\sum_{j=0}^{M''} [P_j(\delta\tau)]} \right\}^{1/2}$$

ترد قيمة  $\langle \Delta\tau \rangle$  الواردة في المعادلة (24-6) بوحدات بيكو ثانية وتقيس إلى بيكو ثوان على جذر الكيلومتر باستخدام ما جاء في الفقرة 1.5.1.3. ويبين في الشكل 14 خرج تحويل فورييه المستمد من ليف طوله 25 km باقتران بأسلوب عشوائي.



الشكل 14 - التشتت PMD باستعمال تحليل فورييه

#### 6.2.4.4.1.6 حساب التشتت PMD لأنظمة الليف باقتران مختلط

قد تكون هناك حالات يتسلسل فيها الليف أو المكونات باقتران جدير بالإهمال والليف (الألياف) باقتران عشوائي لتشكيل النظام الخاضع للاختبار. وفي هذه الحالة، ينبغي تحديد المركز (البند 4.2.4.4.1.6) واشتقاق اللحظة الثانية (البند 5.2.4.4.1.6). وينبغي ملاحظة أنه لا يمكن تحديد المجموعات  $P(\delta\tau)$  إلا بعد تجاوز القيمة  $\delta\tau_{last}$  المحسوبة.

#### 7.2.4.4.1.6 المدى الطيفي

يجب استعمال مدى طيفي كاف بالنسبة للألياف باقتران عشوائي 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. ويحدد طول موجة قطع الليف (270 nm أو أدنى من ذلك) أقصى مدى قابل للاستعمال عند الطرف ( $\lambda_1$ ) القصير، وبواسطة خفض حساسية الكاشف عند الطرف المرتفع ( $\lambda_2$ ) (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  $\lambda_1$  إلى  $\lambda_2$  "دورتين" كاملتين على الأقل. ويعرف المدى الطيفي المغطى أصغر قيمة  $\delta\tau$ ، يمكن التوصل إليها في  $P(\delta\tau)$ ، على النحو التالي:

$$(25-6) \quad \delta\tau_{min} = \frac{2\lambda_1\lambda_2}{(\lambda_2 - \lambda_1)c}$$

حيث يدخل العامل 2 للسماح بتجاهل نقطتين من البيانات في  $P$  عند الصفر والجوار للصفر (انظر البند 3.2.4.4.1.6)، تكون قيمة  $\delta\tau_{\min} = 0,033$  ps، مثلاً، بالنسبة للقيمتين  $\lambda_1 = 1270$  nm و  $\lambda_2 = 1700$  nm.

يمكن تخفيف اشتراط المتوسط الطيفي المذكور أعلاه بالنسبة للألياف مرتفعة التشتت PMD ذات الاقتران الجدير بالإهمال ونسبة بيانات  $R(\lambda)$  تشابه النسبة الواردة في الشكل 13-أ ويخفض المدى الطيفي [ومثال ذلك  $(\lambda_1 - \lambda_2) \sim 30$  nm] للسماح بفحص التغيير في التشتت PMD مع طول الموجة.

#### 8.2.4.4.1.6 مقياس درجة طول الموجة والاستبانة الطيفية

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

$$\delta\tau_{\max} = 1/(2 \cdot \Delta\nu) \quad (26-6)$$

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

يساوي عرض خط طيف الضوء أحادي اللون (الاستبانة) المعبر 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 550 nm ( $\Delta\nu = 374$  GHz) نمطياً بالنسبة للقيمة  $\delta\tau_{\max} = 1,34$  ps.

#### 3.4.4.1.6 تحليل فورييه بجيب التمام

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

يشير التحليل التريبيعي لدالتي الارتباط المتبادل والارتباط الذاتي المستمد من إجراء تحليل GINTY في البند 3.1.6 إلى أن الفرق بين العروض RMS التريبيعية لهذه الدالات تتناسب مع مربع زمن المهلة DGD التريبيعي المتزن طيفياً (في القدرة المربعة) لقيم مهلة DGD (انظر المعادلة (6-18)).

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

ويجد 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 القياس بالتداخل (GINTY).

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

#### 1.3.4.4.1.6 نظرة شاملة

قياس القدرة الصادرة عن المحلل الموضوع عند إنشاءين متعامدين مطلوب. تعدّل النسبة  $R$  المرتبطة بالمعادلة (6-20) على النحو التالي:

$$R(\nu) = \frac{P_A(\nu) - P_B(\nu)}{P_A(\nu) + P_B(\nu)} \quad (27-6)$$

حيث  $c/\lambda = \nu$  هو التردد البصري، بوحدته التيراهرتز.

وإذا استعمل مقياس استقطاب، تكافئ العناصر الثلاثة لمتجه ستوكس للخروج المعياري النسب الثلاثة المعاييرة المستقلة، تلك الممثلة في المعادلة (6-27). وكل مكون لمتجه ستوكس هو الفرق في القدرة بين إنشائين محلل متعامد. والعناصر الثلاثة مختلفة حيث إن إنشائات القاعدة متعامدة أيضاً.

تضرب البيانات في دالة نوافذة  $W(v)$ ، التي تتجه إلى صفر يرفق صوب الحواف. توضع  $R(v)W(v)$  و  $W(v)$  على السواء في شكل مصفوفة وتدرج القيم صفر في شكل حشو عند قواعد الترددات غير المقاسة. وبتطبيق تحويل جيب تمام فورييه السريع (FCFT) على كل مصفوفة، يمكن الحصول على أغلفة الهدب في الميدان الزمني  $r(t)w(t)$  و  $w(t)$ . 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 إنشائات مقطاب الدخل (أو من عناصر متجهات ستوكس للخروج) باستعمال تخليط دخل/خرج SOP مثلاً، يمكن تكوين أغلفة مربعة متوسطة على النحو التالي:

$$(28-6) \quad \bar{E}_0^2 = \frac{1}{N} \sum_i E_{0i}^2 \quad \bar{E}_x^2 = \frac{1}{N} \sum_i E_{xi}^2$$

وباستعمال طريقة الحساب الواردة في الفقرة 2.I، يمكن حساب عروض RMS،  $\sigma_x$  و  $\sigma_0$ ، للدالتين. وتحسب قيمة التشتت  $\text{PMD}_{\text{RMS}}$  على النحو التالي:

$$(29-6) \quad \text{PMD}_{\text{RMS}} = \left[ \frac{3}{2} (\sigma_x^2 - \sigma_0^2) \right]^{1/2}$$

وهي مرتبطة بالقيمة التربيعية المتوسطة للتشتت RMS (بواسطة القيمة المربعة للنافذة) للمهلة DGD.

$$(30-6) \quad \langle \text{PMD}_{\text{RMS}} \rangle = \frac{\int \Delta\tau^2(v) W^2(v) dv}{\int W^2(v) dv}$$

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

#### 2.3.4.4.1.6 التفاصيل

يفسر هذا البند بعض التفاصيل المتعلقة بنافذة الترددات المقاسة، زيادة التردد  $\Delta v$ ، وزحزحة التردد وتحويل FCFT. ويرد مثال لخوارزمية تحويل فورييه السريع بجيب تمام FCFT في المرجع [b-Press 1992].

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

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

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

$$(31-6) \quad v_{\max} = v_{\max M} \cdot v_{\max} \frac{n-1}{n} = v_{\min} \leq v_{\min M}$$

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  $t_{\max} = \Delta t 2^k$ ، حيث تنتج الزيادة الزمنية  $\Delta t$  بالمعادلة التالية:

$$(32-6) \quad \Delta t = \frac{n}{2v_{\max}} = \frac{1}{2(v_{\max} - v_{\min})}$$

ومخطط الهدبة الناتج عن تقنية القياس بالتداخل 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  $\Delta v$  أيضاً بعدد النقاط المعاينة، وبزحزحة التردد وأقصى  $PMD_{RMS}$  يتعين قياسه. وهو يرد بالمعادلة التالية، التي أشير فيها إلى التقييد:

$$(33-6) \quad \Delta v = \frac{v_{\max} - v_{\min}}{2^k} \leq \frac{1}{24PMD_{RMS-\max}}$$

ويتماشى التقييد في الصيغة (33-6) مع المعادلة (22-6). 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 (33-6).

دالة النوفذة  $W(v)$  يمكن أن تكون أي دالة تقنياً، بما في ذلك دالة تريبيعية. ويتعين على الدالة المختارة أن تقلل إلى أدنى حد قيمة  $\sigma_0$ . 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  $\sigma_0$ .

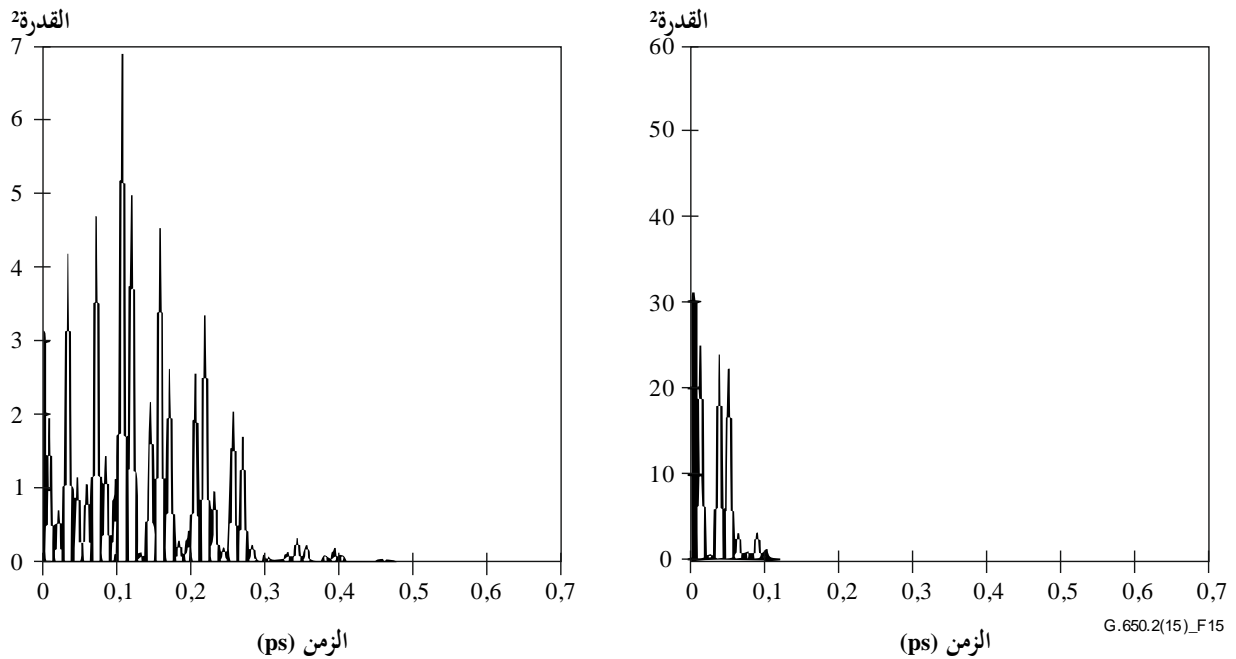
#### 3.3.4.4.1.6 أمثلة

يرد في الجدول 1 جدول تفصيلي لحساب العينة. تمركزت فيه القيم المتطرفة لطول الموجة و  $k$ . 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 1 - تحويل فورييه بجيب التمام

		:c		nm/ps 299792,5		
		:k		11		
		:npt		2 048 (ملاحظة)		
التردد (THz)			طول الموجة (nm)			
230,609 6			1 700			
176,348 5			1 300			
حد أقصى			حد أدنى			
زحزحة التردد						
$\Delta\lambda$ (nm)	PMD <sub>max</sub> (ps)	PMD <sub>min</sub> (ps)	$\Delta\nu$ (THz)	$\Delta t$ (ps)	$\nu_{min}$ (THz)	n
0,635 076	0,370 034	0,006 504	0,112 602	0,002 168	0	1
1,270 772	0,185 017	0,013 009	0,225 205	0,004 336	115,304 807 7	2
1,907 090	0,123 345	0,019 513	0,337 807	0,006 504	153,739 743 6	3
2,544 031	0,092 508	0,026 018	0,450 409	0,008 673	172,957 211 5	4
3,181 596	0,074 007	0,032 522	0,563 012	0,010 841	184,487 692 3	5
3,819 785	0,061 672	0,039 027	0,675 614	0,013 009	192,174 679 5	6
4,458 599	0,052 862	0,045 531	0,788 216	0,015 177	197,665 384 6	7
5,098 039	0,046 254	0,052 036	0,900 819	0,017 345	201,783 413 5	8
ملاحظة - npt هو عدد النقاط المزمع تحويلها بجيب التمام، ويساوي $2^k$ . ويقبل عدد النقاط في الاختبار عن ذلك عادة، والمساحة التي لا تمتلئ ببيانات فعلية تُملأ بأصفار.						

توضح الأشكال التالية النتائج التي كان يمكن استنتاجها من ليف بثشتت قدره  $PMD_{RMS} = 0,2$  ps. وتبيّن في الشكل 15 الأغلفة الوسطى للارتباط المتبادل والارتباط الذاتي من مسح وحيد باستعمال دالة نوفذة غوسية مع انحراف معياري قدره 23 nm. والنتائج هي محاكاة لليف باقتران بأسلوب عشوائي. وكانت النتيجة المقاسة لهذه المحاكاة هي 0,185 ps.



الشكل 15 - دالة الارتباط المتبادل ودالة الارتباط الذاتي



#### 5.4.1.6 تقديم النتائج

يتعين عرض التفاصيل التالية:

- أ) تعرف هوية الليف أو الكبل المقاس.
- ب) طول الاختبار.
- ج) تشتت أسلوب الاستقطاب (بوحدة بيكوثنائية عموماً). إذا كانت درجة اقتران الأسلوب معروفة، يمكن أن يرد معامل التشتت (PMD) بوحدة البيكوثنواني بالكيلومتر (اقتران بأسلوب جدير بالإهمال) أو البيكوثنواني على جذر الكيلومتر (اقتران أسلوب عشوائي).
- د) مدى طول الموجة التي أجري عليها القياس، ومقاس طول الموجة أو التردد.
- هـ) 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.

#### 2.6 طرائق اختبار النوع غير الخطية

(قيد الدراسة).

## التذييل I

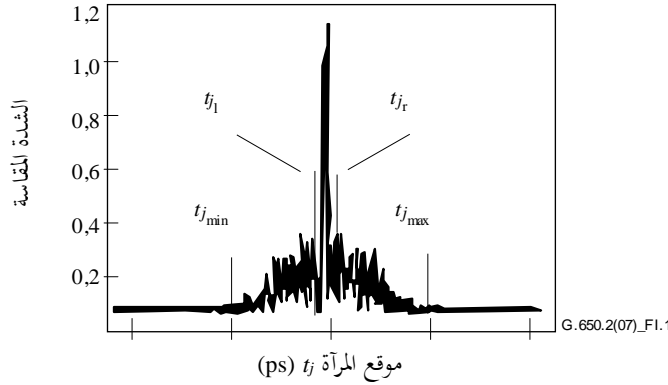
### تحديد مهلة التشتت PMD من مخطط التداخل

(لا يشكل هذا التذييل جزءاً أساسياً من هذه التوصية.)

يقدم هذا التذييل طريقتان لتحديد عرض RMS من أغلفة الهدب. تستعمل الطريقتان أساساً لطريقة القياس بالتداخل 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 بذروة ارتباط ذاتي مركزية.



الشكل 1.I - معاملات تحليل مخطط التداخل

تحدد القيمة  $\tilde{I}_j$  الشدة المقاسة لغلاف هدبة عند مواقع متزايدة  $t_j$ ، و  $j = 1 \dots N$ ، مع  $[t_j]$  بوحدات البيكوثواني.

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

التعريف:  $N_5 = 5$  دائري (5 N/100)

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

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

$$(3-I) \quad Na = \sqrt{X_2 - I_0^2}$$

الخطوة 2 - تعريف الشدة المرحزة  $I_j$

$$(4-I) \quad I_j := \tilde{I}_j - \tilde{I}_0 \text{ if } \tilde{I}_j - \tilde{I}_0 > 4Na$$

$$(5-I) \quad I_j := 0 \text{ if } \tilde{I}_j - \tilde{I}_0 \leq 4Na$$

الخطوة 3 - حساب المركز  $C$  لمخطط التداخل

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

الخطوة 4 - زحزة ذروة الارتباط الذاتي المركزية

$$(7-I) \quad \text{التعريف: } j_l = \text{أكبر لاحقة سفلية } j \text{ بحيث } C - t_j > \tau_c$$

$$(8-I) \quad j_r = \text{أصغر لاحقة سفلية } j \text{ بحيث } t_j - C > \tau_c$$

حيث  $\tau_c$  هي زمن تماسك المصدر.

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

$$(9-I) \quad j_r := j_l + 1$$

الخطوة 5 - حساب اللحظة الثانية  $S$  لمخطط التداخل

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

الخطوة 6 - بتر مخطط التداخل

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

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

الخطوة 7 - حساب اللحظة الثانية  $\sigma_\varepsilon$  لمخطط التداخل المبتور

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

الخطوة 8 - حساب قيمة  $\sigma$  للمعادلة الغوسية  $\exp(-(t-C)^2/2\sigma^2)$  كما يلي:

$$(14-I) \quad \sigma_\varepsilon = \frac{1}{2} \left\{ \sqrt{\frac{\int_{t_{jmin}}^{t_{jl}} (t-C)^2 \exp[-(t-C)^2/2\sigma^2] dt}{\int_{t_{jmin}}^{t_{jl}} \exp[-(t-C)^2/2\sigma^2] dt}} + \sqrt{\frac{\int_{t_{jr}}^{t_{jmax}} (t-C)^2 \exp[-(t-C)^2/2\sigma^2] dt}{\int_{t_{jr}}^{t_{jmax}} \exp[-(t-C)^2/2\sigma^2] dt}} \right\}$$

الخطوة 9 - تحديد التشتت  $\langle \Delta\tau^2 \rangle^{1/2}$  PMDRMS

$$(15-I) \quad \text{PMD}_{\text{RMS}} = \langle \Delta\tau^2 \rangle^{1/2} = \sqrt{\frac{3}{4}} \sigma$$

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 البيانات 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 التغيير أو عندما تستقر المجموعات المعروفة. وبالنسبة لتكرار معين، يعين عدد نقاط البيانات في كل مجموعة بما يلي  $N_T$  و  $N_M$ .

تحدد القيمة  $\tilde{I}_j$  الشدة المقاسة لغللاف عند مواقع متزايدة  $t_j$  (ps)، و (ps)، و  $j = 1 \dots N$ . والتعريف الأولي للزمرة T يطابق أول وآخر 5% من المصفوفة الكاملة.

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

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

الخطوة 2 - تعريف الشدة المزحجة  $I_j$

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

الخطوة 3 - حساب المركز C لمخطط التداخل

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

الخطوة 4 - حساب عرض RMS  $\sigma$  للغلاف التربيعي

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

الخطوة 5 - إعادة تعريف المجموعات

تعرف M باعتبارها مجموعة نقاط تكون فيها  $C - 4\sigma \leq t_j \leq C + 4\sigma$ .  
تعرف 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

(لا يشكل هذا التذييل جزءاً أساسياً من هذه التوصية.)

#### 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 بآثر كبير، 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 ( $A_{\text{eff}}$ )

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.

تعرف المنطقة الفعالة  $A_{\text{eff}}$  على النحو التالي:

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

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:

$$(2-II) \quad I(r) = \exp(-2r^2 / w^2)$$

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

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

والتقريب الغوسي يُعتبر دقيقاً بالنسبة لألياف التوصية ITU-T G.652 والتوصية ITU-T G.654 لألياف الدليل التدريجي بجوار القطع LP<sub>11</sub>، ولكن بالنسبة لنفس الألياف بأطوال موجة أطول بكثير وكذلك في حالة ألياف التوصية ITU-T G.653 بزحزحة التشتت، لا يمكن تقدير  $A_{\text{eff}}$  بدقة باستعمال المعادلة (3-II).

وتوجد علاقة أكثر عمومية لكن تجريبية بين  $A_{\text{eff}}$  و  $w$  ترد قيمتها في المرجع [b-Namihira 1994]:

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

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 للخروج  $P(r)$ ، 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 ITU-T G.652 والتوصية ITU-T G.653 في مناطق طول الموجة التي تتراوح بين 1 600-1 200 nm. ويورد الشكل 2.II أمثلة لاعتماد طول الموجة للقطر MFD والسطح  $A_{eff}$  وكذلك عامل التصحيح  $k$  بالنسبة لألياف التوصيات ITU-T G.652 و ITU-T G.653 و ITU-T G.654 في نفس مدى 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 طول الموجة (WDM). يمكن للعلاقة بين  $A_{eff}$  و  $w$  أن تتغير، وينبغي تحديدها باستعمال المعادلة (1.II).

يبين الشكل 3.II اعتماد طول الموجة  $A_{eff}$  بالنسبة لألياف التوصية ITU-T G.653 (بشأن الليف البصري أحادي الأسلوب المزوج بالتشتت (DSF)) وألياف التوصية ITU-T G.655 (NZ-DSF) في مناطق طول الموجة التي تتراوح بين 1 580-1 520 nm لتطبيقات WDM.

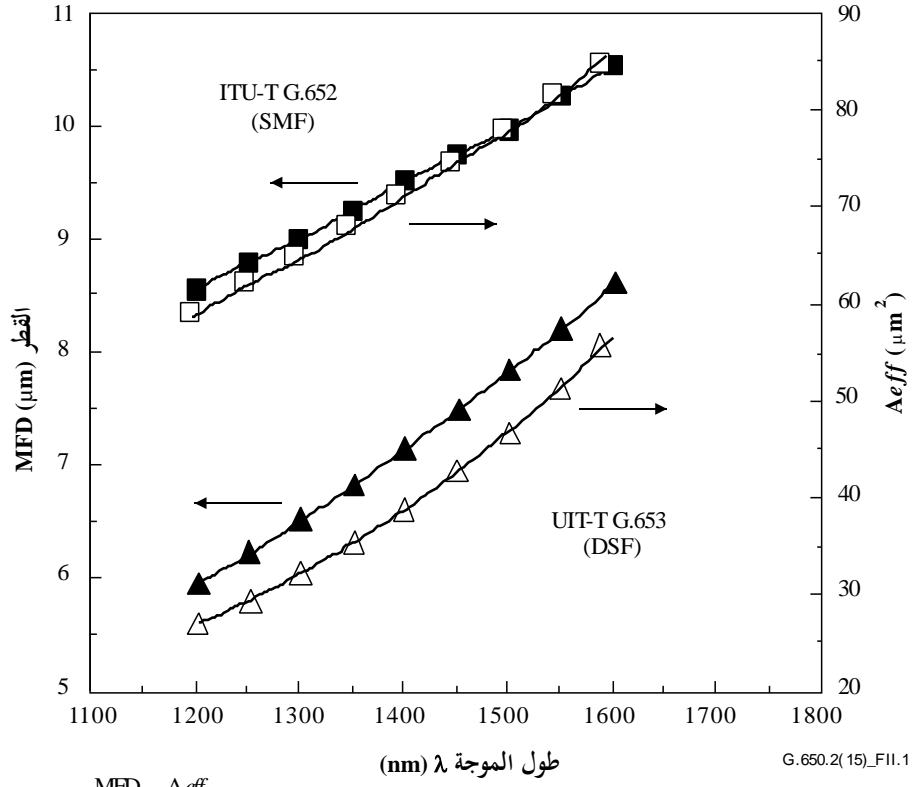
وتم التوصل إلى أن متوسط قيم  $k$  والانحراف المعياري يبلغ زهاء  $0,005 \pm 0,953$  لألياف التوصية ITU-T G.653 و  $1,09 \pm 0,070$  بالنسبة لألياف التوصية ITU-T G.655.

**الجدول 1.II - ملخص عامل التصحيح  $k$  للمنطقة  $A_{eff}$  والقطر MFD ( $w=2$ )**

**لألياف التوصيات ITU-T G.652 و ITU-T G.653 و ITU-T G.654**

**وفقاً للأمثلة الواردة في الشكل 2.II**

طول الموجة $\lambda$		أنماط الألياف
nm 1 550 ~	nm 1 310 ~	
0,970 ~ 0,960	0,980 ~ 0,970 (ملاحظة)	التوصية ITU-T G.652
0,985 ~ 0,975 (ملاحظة)	،،،	التوصية ITU-T G.654
0,960 ~ 0,950 (ملاحظة)	0,950 ~ 0,940	التوصية ITU-T G.653
		ملاحظة - مدى طول الموجة الأمثل.

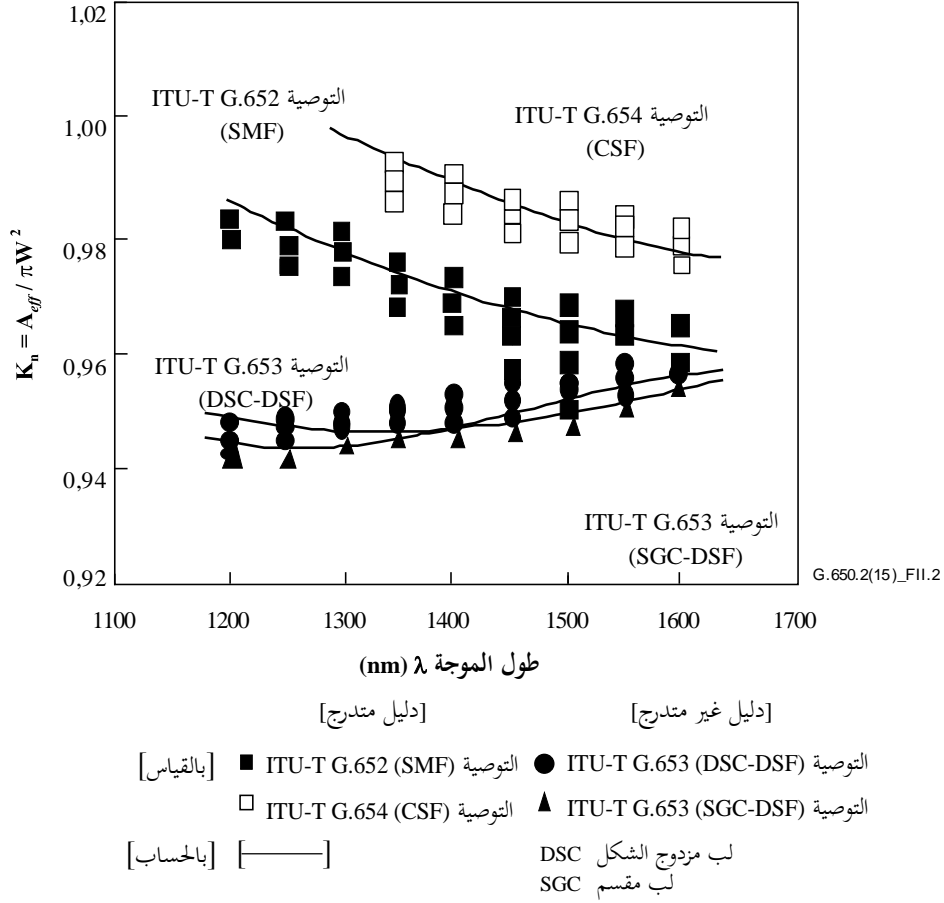


MFD  $A_{eff}$   
 ■ □ التوصية ITU-T G.652 (SMF) [دليل متدرج]  
 ▲ △ التوصية ITU-T G.653 (DSF) [دليل غير متدرج]

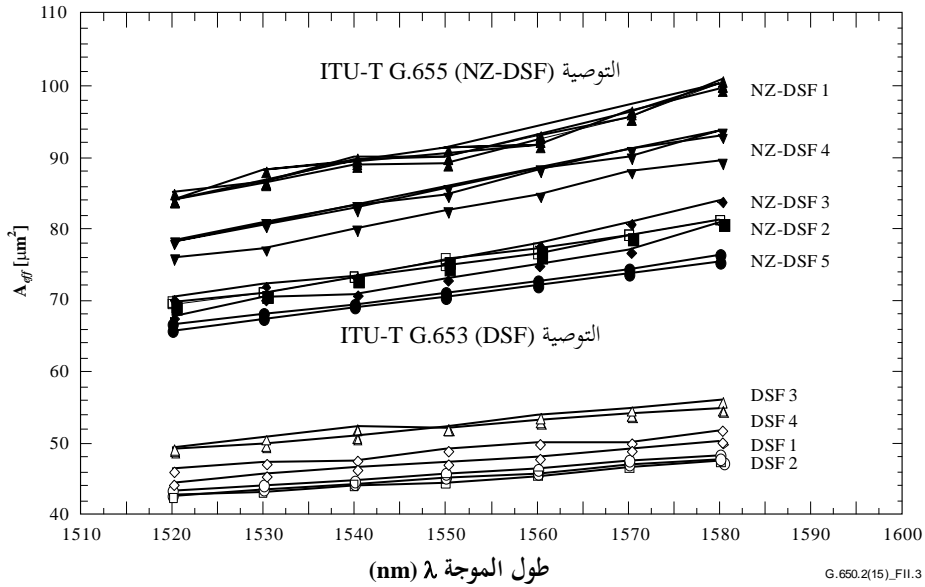
G.650.2(15)\_F11.1

الشكل 1.11 - مثال لقياس اعتماد  $A_{eff}$  وقطر مجال الأسلوب ( $w_2$ ) كدالة لطول الموجة لألياف التوصيتين ITU-T G.652 و ITU-T G.653





الشكل 2.II - مثال لطول الموجة المحسوب والمقاس بالاعتماد على عامل التصحيح  $k$  لألياف التوصيات ITU-T G.654 و ITU-T G.653 و ITU-T G.652



الشكل 3.II - مثال لاعتماد  $\lambda$  المقاس وفقاً لطول الموجة  $A_{eff}$  لألياف التوصيتين ITU-T G.655 و ITU-T G.653

## 4.II المعامل غير الخطي ( $n_2/A_{\text{eff}}$ )

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

$$n = n_0 + n_2 I \quad (5-II)$$

حيث  $n$  هي دليل الانكسار، و  $n_0$  الجزء الخطي لدليل الانكسار، و  $n_2$  دليل الانكسار غير الخطي و  $I$  هي الشدة البصرية داخل الألياف. يعرف المعامل غير الخطي على أنه  $n_2/A_{\text{eff}}$ . ويؤدي هذا المعامل دوراً هاماً في تقييم ترددي أداء النظام الناجم عن العلاقات غير الخطية عند استعمال أنظمة ذات كثافة مرتفعة للقدرة. ويجري حالياً دراسة طرائق قياس المعامل غير الخطي.

## 5.II انتشار بريلوبين المستحث (SBS)

في نظام اتصالات بالموجات الضوئية يستخدم مصدراً بصرياً ذا عرض خط ضيق، يمكن أن تنقل قدرة بصرية كبيرة من إشارة الانتشار الأمامي إلى إشارة الانتشار الخلفي عند تجاوز تصنيف قدرة انتشار بريلوبين المستحث (SBS) في الليف البصري. وفي انتشار SBS، ينتشر ضوء الانتشار الأمامي من فونون سمعي. ويفرض تكييف الطور (أو المحافظة على الزخم) انتشار الضوء تفضيلاً في الاتجاه الخلفي. ويخفف الضوء المنتشر بتأثير بريلوبين إلى 11 GHz عند 1550 nm.

### 1.5.II تعاريف ونظرة عامة على القياس

تقدم عدة تعاريف ممكنة لتصنيف قدرة SBS كمستوى قدرة دخل يقع عنده انتشار خلفي "جوهري" ليس فريداً من نوعه. وقد عُلم بذلك من قبل، انظر على سبيل المثال المرجعين [b-Smith 1972] و [b-Kobyakov 2002] حيث استخدمت مختلف المصطلحات والتعاريف لقياس ظاهرة SBS كميّاً (عتبة SBS، والقدرة الحرجة لانتشار SBS، وما إلى ذلك). بيد أن المفهوم الشائع بينها هو أن قدرة الدخل التي يرتدي عندها انتشار SBS أهمية تتمثل في المنظومة التي تبدأ فيها قدرة الانتشار الخلفي بالتزايد السريع. ونظراً للزيادة الأسية في قدرة الانتشار الخلفي، يكاد يضيق مدى قدرات الدخل في هذه المنظومة [b-Kobyakov 2002]، ولذلك تعطي كل التعاريف نتائج متشابهة (وإن لم تكن متطابقة).

ويرد تعريفان لتصنيف قدرة SBS: يمثل أحدهما معدل الزيادة في قدرة الانتشار الخلفي، ويتعلق الآخر بمستوى قدرة الانتشار الخلفي إلى مستوى قدرة الدخل. وتختلف هذه التعاريف من حيث سهولة الاستخدام والتصوير، والحصانة من الضوضاء والانعكاس الدخيل، والاتساق مع العمل النظري في هذا المجال.

### 1.1.5.II تعاريف

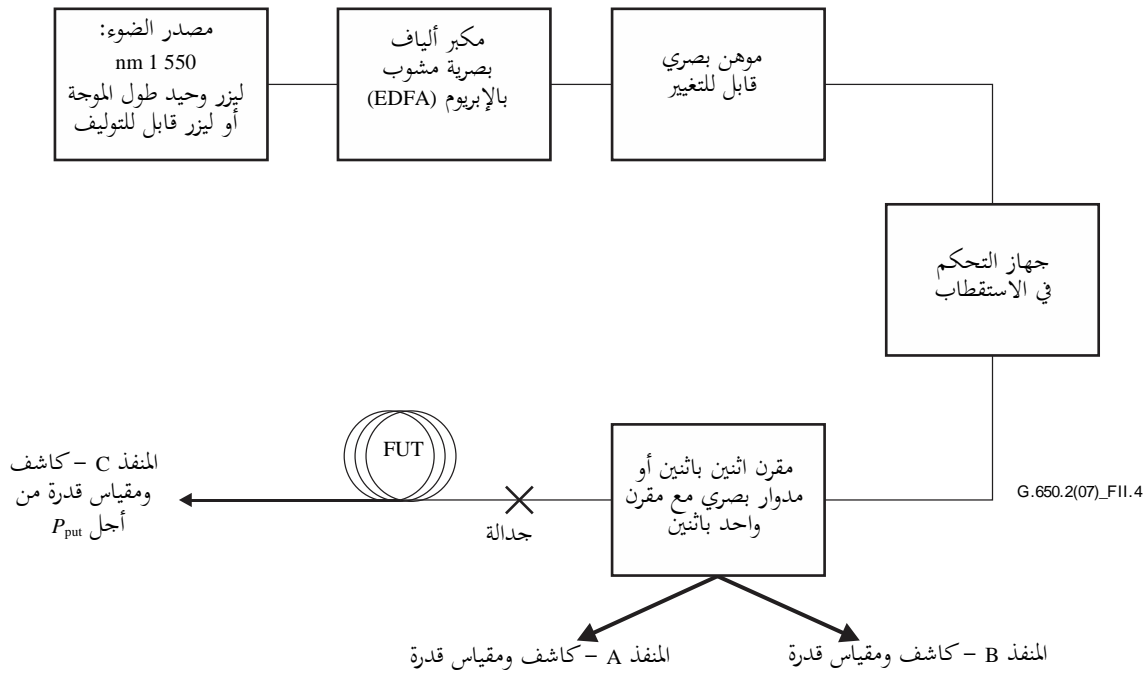
- A:** قدرة الدخل التي يكون عندها معدل زيادة القدرة المنعكسة في أعلاه أو متسارعاً إلى أقصى حد.
- الخيار 1 - قدرة الدخل التي يكون عندها المشتق الثاني للقدرة المنعكسة  $(\text{mW/mW})^2$  بالحد الأقصى.
- الخيار 2 - قدرة الدخل التي يكون عندها المشتق الثاني للقدرة المرسلة  $(\text{mW/mW})^2$  بالحد الأدنى.
- الخيار 3 - قدرة الدخل التي يكون عندها المشتق الأول للقدرة المنعكسة  $(\text{dBm/dBm})$  بالحد الأقصى.
- B:** قدرة الدخل التي تساوي عندها القدرة المنعكسة 4% من قدرة الدخل.

### 2.1.5.II نظرة عامة على القياس

يجري القياس بتغيير قدرة الدخل في الألياف تحت الاختبار، إلى مستويات قدرة كبيرة جداً عادةً، وعادةً ما تكون بمقادير زيادة متساوية من القدرة ممثلة بوحدة dBm. وباستخدام البصريات المناسبة في طرف الدخل، يمكن قياس القدرة المنعكسة في نفس قدرات الدخل. ويمكن أيضاً قياس القدرة المرسلة. وفي جميع الحالات، تجب إزالة الانعكاس من الطرف البعيد في الألياف لمنع تفاعلات SBS من الدرجة الثانية.

## 2.5.II الجهاز

يبين الشكل 4.II إعداد قياسي نمطي يمكن أن يسمح بقياس قدرة الدخل المنعكسة والمرسلة. ويبين النص التالي بعض المتطلبات. وللقياس باستخدام القدرة المرسلة، لا تلزم بعض العناصر.



الشكل 4.II - إعداد قياسي نمطي لتصنيف قدرة SBS

### 1.2.5.II مصدر الضوء

يجب أن يكون مصدر الضوء ليزراً ضيق النطاق أو ليزراً قابلاً للتوليف في مجال nm 1550 بالخصائص التالية:

- قدرة كافية لإنتاج نسبة SNR كافية عبر مكبر ألياف بصرية مشوب بالإريوم (EDFA).
- تردد بصري مستقر خلال فترة القياس بحدود 20 kHz.
- عرض طيفي (FWHM) أقل من 200 kHz، مع عدم وجود خط تأخير كبير.
- درجة استقطاب (DoP) أكبر من 99%.
- حالة استقطاب مستقرة (SOP) خلال فترة الاختبار. ويمكن التحقق من ذلك من خلال مراقبة المنفذ A.

### 2.2.5.II مكبر الألياف البصرية مشوب بالإريوم (EDFA)

تبعاً لطول الليف تحت الاختبار وحساسيته لانتثار SBS وتعريف تصنيف قدرة SBS التي ستستخدم في تحليل البيانات، يمكن أن تُتطلب قدرات عالية من مكبر EDFA (15 dBm أو أكثر). ويمكن لمكبر EDFA أن يسهم في تلاقح مضخم (ASE) يمكنه أن يقلل من آثار SBS وأن يحد كذلك إزالة الاستقطاب. أما نسبة SNR لتوليفة الليزر المصدرية وEDFA فهي تتناسب عكسياً مع قدرة الليزر المصدرية، ولكن العلاقة تعتمد أيضاً على تفاصيل خصوصية مكبر EDFA المستخدم. ويمكن حساب SNR من خرج محلل الطيف البصري لمختلف مستويات قدرة المصدر. ويجب أن يكون مصدر القدرة كبيراً بما فيه الكفاية بحيث تزيد نسبة SNR عن 17 dB. ويمكن تحقيق ذلك بالتحكم في قدرة مضخة EDFA أو بدلاً من ذلك بتوفير مرشاح تمرير نطاق.

ويجب على توليفة الليزر المصدرية وEDFA أن تكون مستقرة في حدود 0,05 dBm خلال فترة القياس.

ويتضمن مكبر EDFA عوازل عادة. وإذا لم يكن الأمر كذلك، يجب إضافة العوازل. ويجب الحرص على ألا يتردى أداء EDFA بفعل عدم كفاية العزل عن قدرة انتشار SBS الخلفي الكبيرة.

### 3.2.5.II الموهن البصري القابل للتغيير (VOA)

يُتحكم في قدرة الضوء المدرج في FUT بالموهن البصري القابل للتغيير (VOA). وينبغي أن يكون الموهن البصري القابل للتغيير قادراً على استيعاب مدى يقارب 20 dB بمقادير زيادة يبلغ كل منها 0,1 dB. ويغني قياس طول مرجعي عن معايرة مطلقة للموهن VOA أو لخطيته.

### 4.2.5.II جهاز التحكم في الاستقطاب

يسمح جهاز التحكم في الاستقطاب، وهو جهاز اختياري، بتهيئة القدرة إلى FUT على الوجه الأمثل. وهو يسمح أيضاً بمراقبة التغيرات في حالة استقطاب المصدر أثناء قياس. وتنتج التهيئة المثلى للقدرة من احتمال وجود كميات صغيرة من الخسارة التي تعتمد على الاستقطاب في العناصر البصرية الأخرى. ويعطي التغيير في القدرة المراقبة في المنفذ A مؤشراً على تغير حالة استقطاب المصدر.

### 5.2.5.II مقرن اثنين باثنين أو مدوّار بصري مع مقرن واحد باثنين

ينبغي لهذا الجهاز أن يسمح لمعظم قدرة الخرج الإجمالية بالذهاب إلى FUT ولنسبة ضئيلة منها، من قبيل 5% أو 1%، إلى المنفذ A. ويسمح هذا الجهاز أيضاً بقياس القدرة المنعكسة في المنفذ B. وإذا أُجري تحليل البيانات باستخدام التعريف A، لا تلتزم معايرة مطلقة لهذا الجهاز، ولكن ينبغي النظر فيها لبعض التجارب.

وعند اكتمال المعايرة، تعدّل القيم الفعلية للقدرة المقيسة (dBm) بثوابت بحيث تمثل القدرات المعدلة القدرات العابرة لضفيرة الألياف البصرية بعد المقرن مباشرة.

وفي حال استخدام مدوّار بصري مع مقرن واحد باثنين يمكن أن تقل مشاكل الضوء المنعكس ارتداداً نحو مكبر EDFA.

وفي أي من التنفيذين، يجب التحقق من خطية المسير من طرف FUT إلى المنفذ B بحدود 0,04 dB لكل dB. فاللاخطية التي تتجاوز هذه القيمة يمكن أن تضع حداً أعلى لإمكانية القياس.

### 6.2.5.II الضفيرة والجدالة بعد المقرن/المدوّار

ينبغي للضفيرة التالية لمقرن أن تكون ذات طول كاف للسماح بجدالات متكررة. والجدالة نفسها ينبغي أن تكون إما جدالة انصهار أو موصل زاوية التصاق لقطع دابر الانعكاسات.

### 7.2.5.II انتهائية الليفة في المنفذ C

يُدْرَج طرف الليفة في مقياس القدرة عند المنفذ C في حالتين:

(أ) عندما يقاس الطول المرجعي؛

(ب) عندما تقاس القدرة المرسلّة عبر كامل الطول ( $P_{out}$ ).

ولا يلزم قياس القدرة المرسلّة عبر كامل الطول إلا عند استخدام التعريف A، الخيار 2. وقد تنطوي بعض التجارب على هذا القياس حتى عندما تُستخدم تعاريف أخرى. وعندما تقاس القدرة المرسلّة، يوصى باستخدام زاوية التصاق تقارب 8° لمنع الانعكاسات التي يمكن أن تؤثر على قياس النتائج في المنفذ B.

وعندما لا تُطلب أي قياسات للقدرة المرسلّة عبر كامل الطول، يُنشر الطرف البعيد لليفة البصرية تحت الاختبار (FUT) حول مغزل صغير القطر بما فيه الكفاية أو صفيف دبابيس متراس لضمان تجريد الضوء من الليفة بقدر كبير قبل أن يصل إلى النهاية.

ولأن الانعكاسات الطرفية يمكن أن تفسد قياسات تصنيف قدرة SBS باستخدام أي من التعاريف، يوصى بتفحص مستوى انتشار رايلي (Rayleigh) الخلفي (القدرة المنعكسة عند قدرة دخل منخفضة جداً) قبل أخذ بيانات SBS. ويكاد عموماً يبلغ انتشار رايلي الخلفي 33 dB دون مستوى قدرة الدخل في ليفة التوصية ITU-T G.652 التي يزيد طولها عن 20 km. وإذا قيست مستويات أعلى مما كان متوقعاً من انتشار رايلي الخلفي، يجب تحسين الانتهائية البصرية في الطرف البعيد من الليفة.

وتقاس القدرة الفعلية المطلقة في كامل طول الليفه بقطع جزء بطول يقرب من مترين في الطول بعد الجدالة. ثم يُسمح مدى القدرات مرة أخرى. ونتيجة للسطح البيني الهوائي/الزجاجي، هناك كمية معينة من الضوء تنعكس (انعكاس فرنيل) حسب زاوية التصاق طرف الليفه. ولحصر كمية الضوء المفقودة بسبب انعكاس فرنيل في ثابت قيمته 0,14 dB، يوصى بأن تقل زوايا الالتصاق بكثير عن 1°.

## 8.2.5.II كاشفات القدرة

تنبغي معايرة كاشفات القدرة في المنافذ A و B و C وفق المرجع [IEC 61315-b]. والدقة المطلقة للنتيجة باستخدام التعريف A مستقلة عن الدقتين المطلقتين للكاشفتين في المنفذ A و B.

وبالإضافة إلى الدقة المطلقة، ينبغي التحقق من كون خطية المقاييس، ولا سيما تلك الموجودة في المنفذ B و C، ضمن حدود 0,04 dB في كل dB عبر المدى المقصود للاستخدام.

## 9.2.5.II اعتبارات عامة

ينبغي لمختلف التوصيلات في جميع أنحاء النظام أن تكون إما جدالات انصهار أو موصلات زاوية لتجنب الانعكاسات.

وينبغي أن يكون تعليب النظام عاتماً لتجنب احتمال تسرب الضوء عالية القدرة منه. وينبغي أن يتضمن النظام آلية آمنة من التعطل أو تحذيراً لمنع ضوء يتجاوز 10 dBm (10 mW) من البث نحو الهواء في المسير من المقرن إلى FUT (سواء عبر كامل الطول أو عبر مرجع القياس). ويمكن تحقيق ذلك باستخدام القدرة المكشوفة في المنفذ A.

## 3.5.II الإجراء

يتعين تطبيق هذا الإجراء على الألياف ضمن أو خارج كبل. وتشير بعض الأدلة إلى أن طريقة النشر قد تؤثر على النتائج المقیسة. وينبغي القيام بكل القياسات في درجة حرارة الغرفة العادية (20 درجة مئوية).

### 1.3.5.II الإجراء المتبع لقياس القدرة المنعكسة

- يُضبط الموهن البصري القابل للتغيير (VOA) إلى الحد الأدنى من قدرة الخرج.
- يُجدل بالانصهار طرف الدخل من الألياف إلى النظام، ويُنهى الطرف البعيد بمغزل قطره صغير أو بصفيق دبابيس للتخلص من الانعكاس عن ذلك الطرف.
- يُمسح الموهن VOA وتؤخذ قراءات القدرة المنعكسة من المنفذ B. ويمكن استخدام قراءات القدرة من المنفذ A للتحقق من اتساق قدرة الدخل عبر المسح. ويعاد VOA إلى الحد الأدنى من القدرة.
- وعلى نحو اختياري، يُزال جهاز الانتهاء من الطرف البعيد، وتُعدُّ واجهة طرفية بزاوية 8°، ويُستكمل مسح VOA مرة أخرى للحصول على القدرة المرسله عبر المنفذ C. ويعاد VOA إلى الحد الأدنى من القدرة.
- وتُقطع الألياف تحت الاختبار بطول يقارب المترين من التوصيلة في طرف المصدر. وتُعدُّ واجهة طرفية مستوية لضمان أقصى قدر من انعكاس فرنيل. ويعلق هذا الطرف بالمنفذ C.
- يُمسح الموهن VOA مرة أخرى للحصول على قدرة الدخل عبر المنفذ C. ويعاد VOA إلى الحد الأدنى من القدرة.
- ويبلغ عن قيم القدرة عادةً بوحدة dBm. وتجري أي تعديلات لعوامل المعايرة المرتبطة بمقرن أو مدار.

### 2.3.5.II الإجراء المتبع لقياس القدرة المرسله فقط

- يُضبط الموهن البصري القابل للتغيير (VOA) إلى الحد الأدنى من قدرة الخرج.
- يُجدل بالانصهار طرف الدخل من الألياف إلى النظام، ويُنهى الطرف البعيد إلى المنفذ C باستخدام توصيلة مؤشر مطابقة للتقليل إلى أدنى حد من تفاعل انعكاس الطرف البعيد مع عملية SBS.
- يُمسح الموهن VOA وتؤخذ قراءات القدرة المنعكسة من المنفذ C. ويمكن استخدام قراءات القدرة من المنفذ A للتحقق من اتساق قدرة الدخل عبر المسح. ويعاد VOA إلى الحد الأدنى من القدرة.

- وتُقَطع الألياف تحت الاختبار بطول يقارب المترين من التوصيلة في طرف المصدر. وتُعدُّ واجهة طرفية مستوية لضمان أقصى قدر من انعكاس فرينل. ويعلَّق هذا الطرف بالمنفذ C.
- يُسمح للموهن VOA مرة أخرى للحصول على قدرة الدخل عبر المنفذ C. ويعاد VOA إلى الحد الأدنى من القدرة.
- ويبلغ عن قيم القدرة عادة بوحدة dBm.

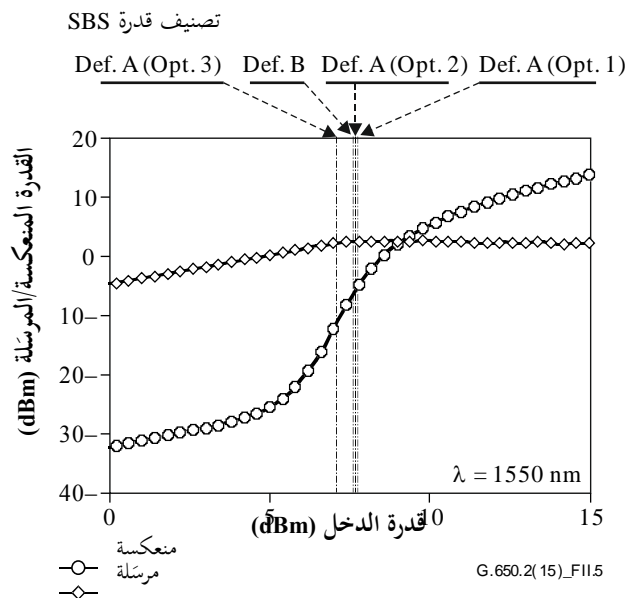
#### 4.5.II حساب وتفسير النتائج

يعتمد تحليل البيانات على التعريف المختار لتصنيف قدرة SBS. ففي التعريف A، يجب صقل البيانات باحتوائها في متعدد حدود ذي ترتيب عالٍ. ولا يتطلب التعريف B أي احتواء، ولكن دقته يمكن أن تتعزز باحتواء في متعدد حدود ذي ترتيب منخفض (الاستكمال الداخلي الخطي مقبول). ويمكن أن تؤثر طريقة النشر على النتائج المقيسة. وفي كلتا الحالتين، تحديد تصنيف قدرة SBS، تضاف 0,14 dB لاحتساب انعكاس فرينل المرتبط بنهاية الألياف.

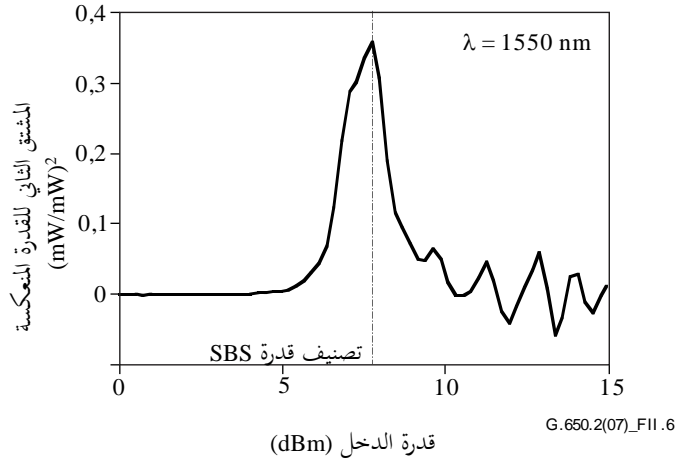
#### 1.4.5.II تحليل البيانات باستخدام التعريف A

يمكن تحقيق الصقل المطلوب في الطريقة A عن طريق اقتطاع البيانات باستخدام متعدد حدود ذي ترتيب عالٍ (من الترتيب السادس أو أعلى) أو باستخدام احتواء في شريحة (من الترتيب الرابع أو أعلى). في الخيارين 1 و 2، عادة ما يجري الاحتواء بوحدة dBm، ثم تحوّل النتائج إلى مشتقات القدرة بالميللي الواط في الثانية باستخدام حساب التفاضل والتكامل. ويتطلب استخدام احتواء متعدد حدود ذي ترتيب عالٍ اقتطاع البيانات خارج مجال قدرة الدخل حيث ترتفع القدرة المنعكسة بسرعة. ويتطلب الاحتواء في شريحة أن تؤخذ بيانات كثيرة خارج هذا المجال.

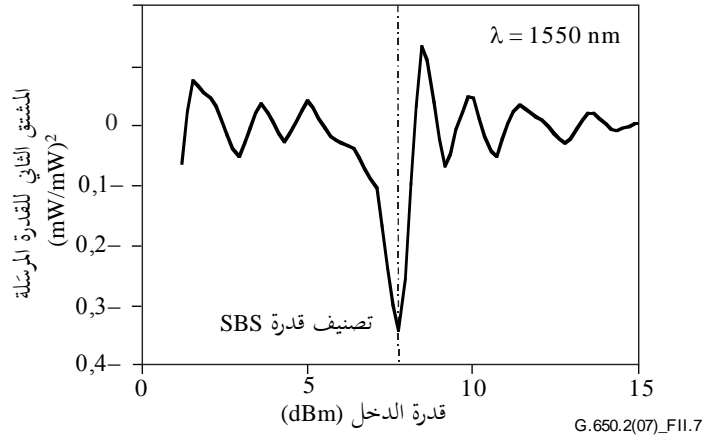
ويظهر الشكل 5.II البيانات النمطية للقدرة المنعكسة والمرسلة في مختلف مستويات قدرة الدخل (البيانات المأخوذة على تدرجات 0,1 dB في قدرة الدخل). وتبين الرموز والخطوط المتصلة النتائج المقيسة ونتائج الاحتواء، على التوالي. وتبين الترميزات قدرات الدخل التي يكون عندها المشتق الثاني للقدرة المنعكسة بالحد الأقصى (الخيار 1)، والمشتق الثاني للقدرة المرسلة بالحد الأدنى (الخيار 2)، والمشتق الأول للقدرة المنعكسة بالحد الأقصى (الخيار 3). ويظهر تصنيف قدرة SBS الذي تم الحصول عليه من التعريف B للمقارنة. ويبين الشكل 6.II المشتق الثاني للقدرة المنعكسة (الخيار 1)، حيث يشار إلى قدرة التسارع القصوى بخط متقطع. ويبين الشكل 7.II المشتق الثاني للقدرة المرسلة (الخيار 2)، حيث يشار إلى قدرة التسارع الدنيا بخط متقطع. ويبين الشكل 8.II المشتق الأول للقدرة المنعكسة (الخيار 3)، حيث يشار إلى المعدل الأقصى لزيادة القدرة بخط متقطع. وفي هذه الحالة، كان تباعد العقدة، لاحتواء في شريحة من الترتيب الرابع، 0,66 dB.



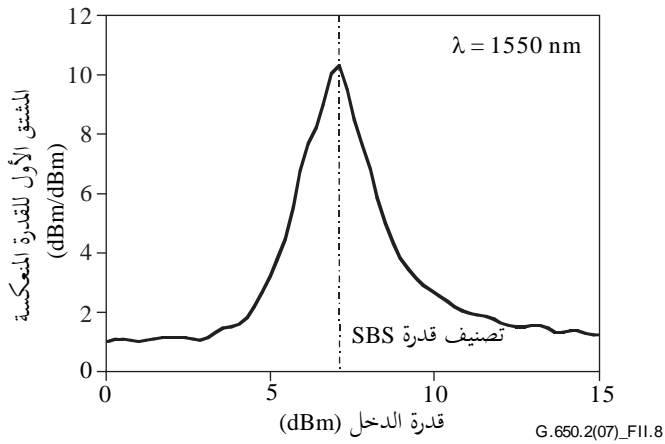
الشكل 5.II - مثال للقدرة المنعكسة والمرسلة



الشكل 6.II - مثال عن المشتق الثاني للقدرة المنعكسة  
بوحدة الميللي واط (الخيار 1 من التعريف A)



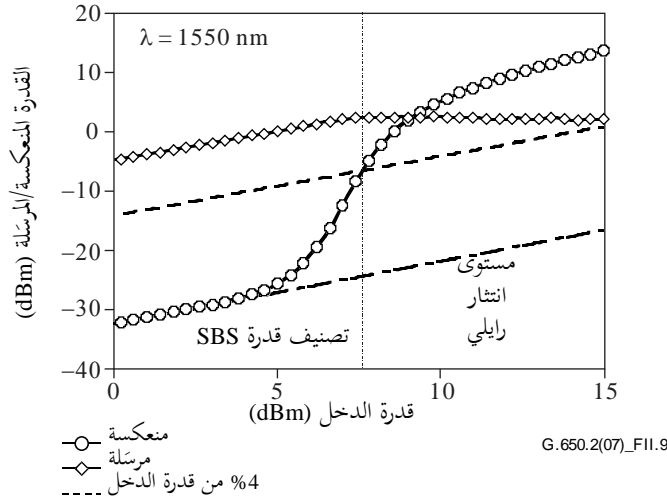
الشكل 7.II - مثال عن المشتق الثاني للقدرة المرسلة  
بوحدة الميللي واط (الخيار 2 من التعريف A)



الشكل 8.II - مثال عن المشتق الأول للقدرة المنعكسة  
بوحدة dBm (الخيار 3 من التعريف A)

## 2.4.5.II تحليل البيانات باستخدام التعريف B

يبين الشكل 9.II تطبيق التعريف B. ويعطى تصنيف قدرة SBS بتقاطع منحني بيانات القدرة المنعكسة مع خط مرسوم للدلالة على القدرة المنعكسة بنسبة 4% من قدرة الدخل. وترد في الشكل 5.II مقارنة بين تصنيف قدرة SBS الذي جاء في التعريف B مع ذلك الذي جاء في التعريف A.



الشكل 9.II - مثال على 4% من قدرة الدخل (التعريف B)

## 3.4.5.II عدم اليقين في قياس وحساب تصنيف قدرة SBS

يمكن لقياس منقذ بشكل صحيح أن يتيح إمكانية تكرار تصنيف قدرة SBS بمحدود  $\pm 0,1$  dB. ويمكن أن تكون هناك اختلافات بين التعاريف المختلفة بواقع 0,5 dB. ويمكن للانعكاسات غير ذات الصلة بانتشار SBS، بفعل الانتهاية غير المناسبة للألياف، أن تسبب ارتفاع مستويات الانتثار الخلفي مما يؤدي إلى نتائج غير صحيحة. وهناك مفاضلات بين التعاريف التي تولي أولويات مختلفة لتفاصيل معينة من التنفيذ:

- يتطلب التعريف A احتواء في متعدد حدود ذي ترتيب عالٍ للتمايز. ويمكن لاختيار خوارزمية لأداء هذا الاحتواء أن يسفر عن نتائج مختلفة (من حيث قابلية تكرار القياس). ولضوضاء القياس تأثير أوضح على النتيجة لدى استخدام هذا التعريف بدلاً من التعريف B. وتتأني أفضل النتائج، ولا سيما بالنسبة للخيارين 1 و 2، عندما يكفي مستوى قدرة الدخل لرؤية اضمحلال في القدرة المنعكسة (على سلم dB/dB) في نظام القدرة العالية
- يتطلب التعريف B معايرة مطلقة للفالق أو المدوار المستخدم لالتقاط الضوء المنعكس. وهذا التعريف أقل حساسية للضوضاء نظراً لإمكانية استخدام نموذج أبسط لاستكمال تصنيف قدرة SBS داخلياً. وبسبب سلوك القدرة المنعكسة القريبة من تصنيف قدرة SBS وهو سلوك يكاد يسلك خطأً مستقيماً، يمكن إجراء تقدير للتصنيف حتى في حال عدم كفاية مجموعات البيانات لتجاوز قيمة التصنيف.

## 4.4.5.II تحويل مشتقات dBm إلى مشتقات الميللي الواط

يتعين استخدام التحويلات مع الخيارين 1 و 2 في التعريف A. وبعد احتواء بيانات dBm/dBm في متعدد حدود، تعرّف  $x$  كقدرة الدخل (dBm)، و  $f(x)$  كالقدرة المرسلة أو المنعكسة (dBm). وتعرّف  $y$  كقدرة الدخل بوحدة الميللي واط، و  $g(y)$  كالأستجابة بوحدة الميللي واط.

$$(6-II) \quad \frac{dg(y)}{dy} = \frac{df(x)}{dx} \exp\left[\frac{\ln 10}{10}(f(x)-x)\right]$$

$$(7-II) \quad \frac{d^2g(y)}{dy^2} = \left\{ \frac{df(x)}{dx} \left[ \frac{df(x)}{dx} - 1 \right] + \frac{10}{\ln 10} \frac{d^2f(x)}{dx^2} \right\} \exp\left\{ \frac{\ln 10}{10} [f(x) - 2x] \right\}$$



وعلاقة dBm بالقدرة بوحدة الملي واط هي:

$$(8-II) \quad dBm = 10 \log_{10}(mW)$$

#### 5.4.5.II تقييس الطول

تختلف قيمة تصنيف قدرة SBS مع الطول. وبالنسبة لبعض التطبيقات، يجب الإبلاغ عن قيمة طول معين يقاس أو يُستخدم. وللمقارنة بين ألياف ذات أطوال مختلفة، يوصى بتقييس القيمة المقيسة بطول معياري ( $L_{STD}$ ). وفي شبكات النفاذ، يوصى بقيمة 20 km. ويمكن القيام بتقييس الطول بأي من نهجين: يستند أحدهما إلى الصيغة الكلاسيكية إلى المعادلة (9-II) أو إلى معادلة أكثر دقة ولكنها أكثر تعقيداً (المعادلة (13-II)). وهناك انحياز طفيف (من 0,1 dB إلى 0,2 dB) يرتبط بالصيغة الكلاسيكية.

#### 1.5.4.5.II الصيغة الكلاسيكية

وُصف تصنيف قدرة SBS من الناحية الكلاسيكية بالمعادلة (9-II) الواردة في المرجع [b-Smith, 1972]، واستخدم العديد من الباحثين الصيغة الكلاسيكية لأنها تسهّل الرياضيات التفسيرية.

$$(9-II) \quad P_{CR} = 21 \frac{KA_{eff}}{g_B^{eff} L_{eff}} \left( 1 + \frac{\Delta v}{\Delta v_B} \right) \text{ (W)}$$

حيث:

$g_B^{eff}$	هو معامل كسب بريلوين الفعال
$K$	هو ثابت بين 1 و2 يعبر عن حالة الاستقطاب
$A_{eff}$	هي المساحة الفعّالة
$L_{eff}$	هو الطول الفعال
$\Delta v$	هو عرض خط المصدر
$\Delta v_B$	هو عرض خط بريلوين (~20 MHz)

$$(10-II) \quad L_{eff} = \frac{1 - \exp(-\alpha L)}{\alpha}$$

$$(11-II) \quad \alpha = \frac{\ln 10}{10} a$$

حيث:

$L$	هو الطول المقيس، بالكيلومترات
$a$	هو معامل التوهين، بوحدة dB في الكيلومتر

يعرّف  $SBS_T(L)$  على أنه تصنيف قدرة SBS (dBm) في الطول  $L$ ، و  $SBS_T(L_{STD})$  على أنها القيمة المقيسة للطول المعياري،  $L_{STD}$ . ثم من المعادلة (9-II):

$$(12-II) \quad SBS_T(L_{STD}) = SBS_T(L) + 10 \log_{10} \left[ \frac{1 - \exp(-\alpha L)}{1 - \exp(-\alpha L_{STD})} \right]$$

حيث يرد تعريف  $\alpha$  في المعادلة (11-II).

## 2.5.4.5.II الصيغة الأكثر دقة

تُستخرج هذه الصيغة من المرجع [b-Kobyakov 2002]. ويُستخدم حل على مرحلتين من معادلة غير خطية. وتُستند الصيغة إلى المعادلة (13-II):

$$(13-II) \quad P_{th}(L) = \frac{\alpha A_{eff}^{ac}}{g_B} \gamma_B(L) \quad (W)$$

حيث:

$A_{eff}^{ac}$  هي المساحة الصوتية البصرية الفعالة  
 $\alpha$  هي معلمة يرد تعريفها في المعادلة (11-II)

$\gamma_B(L)$  هي معلمة بلا أبعاد تعتمد على الطول

$$g_B = \frac{\tilde{g}_B(\nu)}{K(1 + \Delta\nu/\Delta\nu_B)}$$

حيث:

$K$  و  $\Delta\nu$  و  $\Delta\nu_B$  هي معلمات يرد تعريفها في المعادلة (9-II)

$\tilde{g}_B(\nu)$  هو معامل كسب بريلوين، بالأمتار لكل واط

النسبة،  $\gamma_B(L)/P_{th}(L)$  هي ثابت مستقل عن الطول

و تُحل المعلمة بلا أبعاد،  $\gamma_B(L)$ ، باستخدام المعادلة غير الخطية التالية وتصنيف قدرة SBS المقيس،  $P_{th}$ :

$$(14-II) \quad \frac{\exp\{-\gamma_B(L)[1 - \exp(-\alpha L)]\}}{\left[\frac{1}{\gamma_B(L)} + \exp(-\alpha L)\right]} \gamma_B^{3/2}(L) \sqrt{1 - \exp(-\alpha L)} = C' \frac{\gamma_B(L)}{P_{th}(L)}$$

حيث:

$$(15-II) \quad C' = \sqrt{\pi k T} \frac{V_s}{V_a} \Delta\nu_B \cong 2.612 \times 10^{-9}$$

$k$  هو ثابت بولتزمان ( $10^{-23} \times 1,380\ 658$ )

$T$  هي الحرارة (298 °K في درجة حرارة الغرفة)

$V_s$  هو تردد الإشارة (193,4 THz في 1 550 nm)

$V_a$  هو فرق التردد بين موجة ستوكس والإشارة (10,8 GHz)

وبوجود النسبة  $\gamma_B(L)/P_{th}(L)$ ، يعاد تطبيق المعادلة (14-II) باستخدام  $L_{STD}$  لتحديد  $\gamma_B(L_{STD})$ . وتتأتى قيمة  $P_{th}(L_{STD})$  فوراً من النسبة الثابتة. [ويجب تحويلها بعد ذلك إلى dBm لأغراض التبليغ.]

ويمكن تغيير قيمة  $C'$  بزائد أو ناقص برتبة مماثلة من القيمة المعروضة في المعادلة (15-II). فتختلف القيم المحسوبة لتصنيف قدرة SBS بواقع  $0,01 \pm$  dB نتيجة لاختلاف قيمة  $C'$  على هذا النحو.

## 6.4.5.II تقييس التوهين

تختلف قيمة تصنيف قدرة SBS مع التوهين. وبالنسبة لبعض التطبيقات، يجب الإبلاغ عن قيمة توهين معين يقاس أو يُستخدم.

وللمقارنة بين ألياف ذات أطوال مختلفة، يوصى بتقييس القيمة المقيسة بتوهين معياري. ويوصى بقيمة 0,2 dB/km لتوهين معياري. ويعرّف  $SBS_T(\alpha)$  على أنه تصنيف قدرة SBS (dBm) في التوهين  $\alpha$ ، و  $SBS_T(\alpha_{STD})$  على أنها القيمة المقيسة للتوهين المعياري،  $\alpha_{STD}$ . ثم من المعادلة (9-II):

$$(16-II) \quad SBS_T(\alpha_{STD}) = SBS_T(\alpha) + 10 \log_{10} \left[ \frac{\alpha_{STD}}{\alpha} \frac{1 - \exp(-\alpha L)}{1 - \exp(-\alpha_{STD} L)} \right]$$

حيث يرد تعريف  $\alpha$  في المعادلة (11-II).

## 5.5.II التوثيق

يتعين إبلاغ المعلومات التالية:

- طول الموجة وعرض خط المصدر.
- التعريف (A, B).
- للتعريف A، خيار التنفيذ، وتفاصيل الاحتواء الرياضي.
- قيمة تصنيف قدرة SBS.
- بالنسبة إلى القيم المقيسة للطول، ما استُخدم من طول التقييس والصيغة المقيسة.
- بالنسبة إلى القيم المقيسة للتوهين، توهين التقييس.

## 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 [b-ITU-T G.663].

### التذييل III

#### طرائق اختبار المنطقة الفعّالة ( $A_{eff}$ )

(لا يشكل هذا التذييل جزءاً أساسياً من هذه التوصية.)

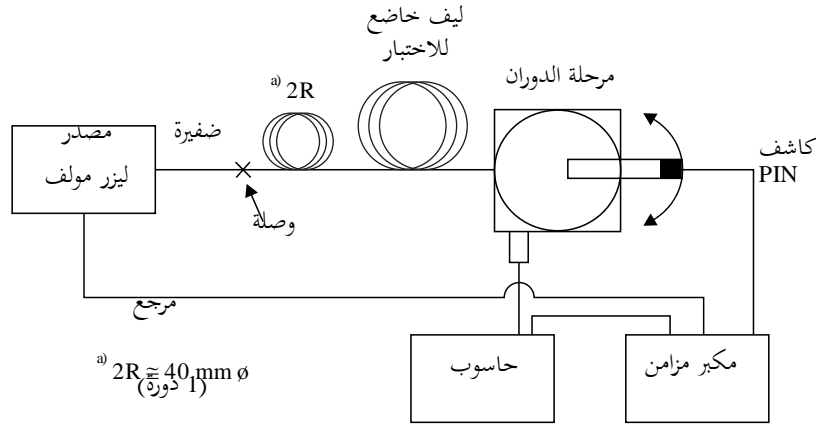
#### 1.III تقنية مسح المجال البعيد (FFS)

##### 1.1.III اعتبارات عامة

تحدد المنطقة الفعّالة ( $A_{eff}$ ) 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).



G.650.2(07)\_FIII.1

#### الشكل 1.III - ترتيب نمطي لمسح المجال البعيد

- |   |           |
|---|-----------|
| مصدر الضوء (وفقاً للفقرة 1.2.1.1.5 من التوصية [b-ITU-T G.650.1]).         | 1.2.1.III |
| التشكيل (وفقاً للفقرة 2.2.1.1.5 من التوصية [b-ITU-T G.650.1]).            | 2.2.1.III |
| ظروف الإطلاق (وفقاً للفقرة 3.2.1.1.5 من التوصية [b-ITU-T G.650.1]).       | 3.2.1.III |
| كابيت بأسلوب الغمد (وفقاً للفقرة 4.2.1.1.5 من التوصية [b-ITU-T G.650.1]). | 4.2.1.III |
| نموذج (وفقاً للفقرة 5.2.1.1.5 من التوصية [b-ITU-T G.650.1]).              | 5.2.1.III |
| جهاز المسح (وفقاً للفقرة 6.2.1.1.5 من التوصية [b-ITU-T G.650.1]).         | 6.2.1.III |
| الكاشف (وفقاً للفقرة 7.2.1.1.5 من التوصية [b-ITU-T G.650.1]).             | 7.2.1.III |
| المكبر (وفقاً للفقرة 8.2.1.1.5 من التوصية [b-ITU-T G.650.1]).             | 8.2.1.III |
| حيازة البيانات (وفقاً للفقرة 9.2.1.1.5 من التوصية [b-ITU-T G.650.1]).     | 9.2.1.III |

#### 3.1.III إجراء القياس

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

تُحسب المنطقة الفعالة ( $A_{\text{eff}}$ ) 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 ( $A_{\text{eff}}$ )

(1) بيانات القدرة المشعة للمجال البعيد

تكون  $P(\theta_i)$  القدرة المقاسة كدالة للوضع الزاوي،  $\theta_i$  (قياس رادياني) بدليل  $i$ . ويكون منحني القدرة المطوي،  $P_f(\theta_i)$  من أجل  $0 \leq \theta_i \leq \theta_{\text{max}}$  كما يلي:

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

(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 لمُدَى 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.

$$(2-III) \quad I(r_j) = \left\{ \sum_{i=0}^n \sqrt{P_f(\theta_i)} J_0 \left[ \frac{2\pi r_j \sin(\theta_i)}{\lambda} \right] \sin(2\theta_i) \Delta\theta \right\}^2$$

حيث  $\Delta\theta = \theta_1 - \theta_0$  و  $J_0$  هي دالة بسل (Bessel) ذات الترتيب 0.

**ملاحظة** - يؤخذ الجذر التربيعي للقدرة،  $P_f(\theta_i)$ ، في المعادلة (2-III) لحساب الاتساع في المجال البعيد من قيم القدرة المقاسة. وبالنسبة لبعض القيم الكبيرة جداً للمعلمة  $\theta_i$ ، قد يتعين على الاتساع بعد عبور الصفر أن يعتمد الجذر السليبي. ويتمثل أحد سبل تجنب هذه الصعوبة في اختيار معلمة  $\theta_{\text{max}}$  منخفضة بما يكفي لضمان كون القدرة المقاسة لجميع الزوايا السفلية أكبر من عدم يقين القياس.

(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.

$$(3-III) \quad T = \left[ \sum_{j=0}^m I(r_j) r_j \Delta r \right]^2$$

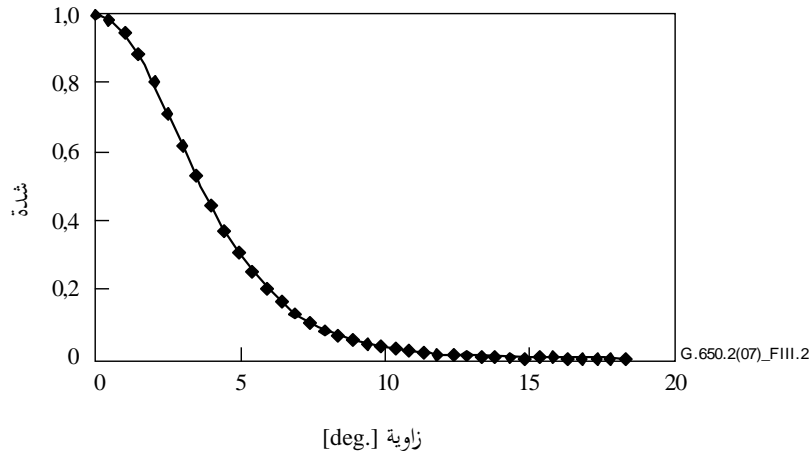
$$(4-III) \quad B = \sum_{j=0}^m I^2(r_j) r_j \Delta r$$

حيث  $r_0 - r_1 = \Delta r$  و  $m$  هو عدد المواقع المحسوبة من المعادلة (2-III).

(4) إتمام الحساب

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

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



الشكل 2.III - مثال لبيانات 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).
- ب) ظروف الإطلاق.
- ج) طول الموجة واتساع الخط الطيفي FWHM للمصدر.
- د) تعرف هوية الليف وطوله.
- هـ) 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) منحنى ( $A_{eff}(\lambda)$ ) عند الاقتضاء.

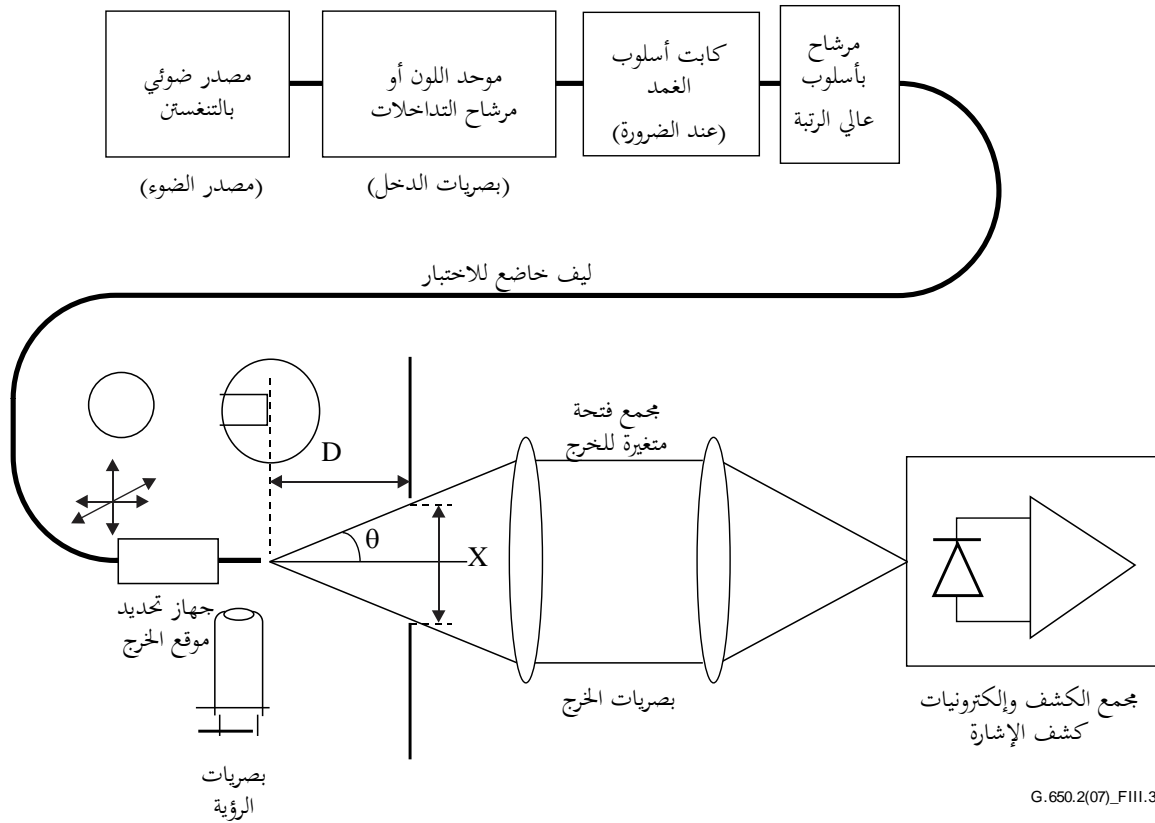
### 2.III تقنية الفتحة المتغيرة (VA)

#### 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.



G.650.2(07)\_FIII.3

### الشكل 3.III - ترتيب نمطي لإنشاء تقنية فتحة متغيرة (VA)

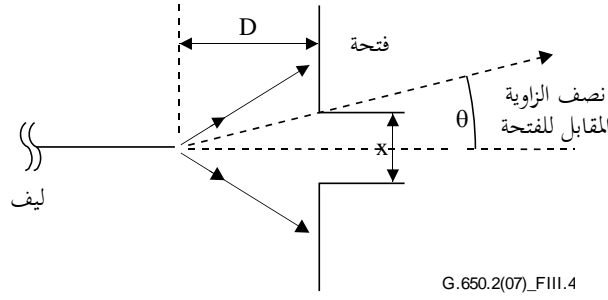
- |   |           |
|---|-----------|
| مصدر الضوء (وفقاً للفقرة 1.2.1.1.5 من التوصية [b-ITU-T G.650.1]).         | 1.2.2.III |
| التشكيل (وفقاً للفقرة 2.2.1.1.5 من التوصية [b-ITU-T G.650.1]).            | 2.2.2.III |
| ظروف الإطلاق (وفقاً للفقرة 3.2.1.1.5 من التوصية [b-ITU-T G.650.1]).       | 3.2.2.III |
| كابيت بأسلوب الغمد (وفقاً للفقرة 4.2.1.1.5 من التوصية [b-ITU-T G.650.1]). | 4.2.2.III |
| النموذج (وفقاً للفقرة 5.2.1.1.5 من التوصية [b-ITU-T G.650.1]).            | 5.2.2.III |
| جهاز الفتحة   | 6.2.2.III |

يتعين استعمال آلية تغطي 12 فتحة على الأقل، تدور في مدى نصف زاوية الفتحة الرقمية من 0,02 إلى 0,25 (0,4) للألياف التي تغطيها التوصية [b-ITU-T 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 للخروج

هو جهاز يتألف من فتحات إرسال مستديرة مختلفة المقاس (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 و 50 mm تقريباً من طرف الليف. تكون الفتحة الرقمية القصوى للاختبار 0,40. وتستعمل وسائل لتركيز الفتحات بالنسبة للمخطط لتقليل حساسية الزاوية الجبهية للليف.

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  $\theta_i$  ( $i = 1 \dots n$ ) بترتيب متزايد لمقاس الفتحة) من أجل الحسابات المقبلة. وتكون هذه القيم مستقلة عن طول موجة الاختبار.



الشكل 4.III - تركيب جهاز ضبط الفتحة

الكاشف (وفقاً للفقرة 7.2.1.1.5 من التوصية [b-ITU-T G.650.1]). 8.2.2.III

المكبر (وفقاً للفقرة 8.2.1.1.5 من التوصية [b-ITU-T G.650.1]). 9.2.2.III

حيازة البيانات (وفقاً للفقرة 9.2.1.1.5 من التوصية [b-ITU-T G.650.1]). 10.2.2.III

### 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.

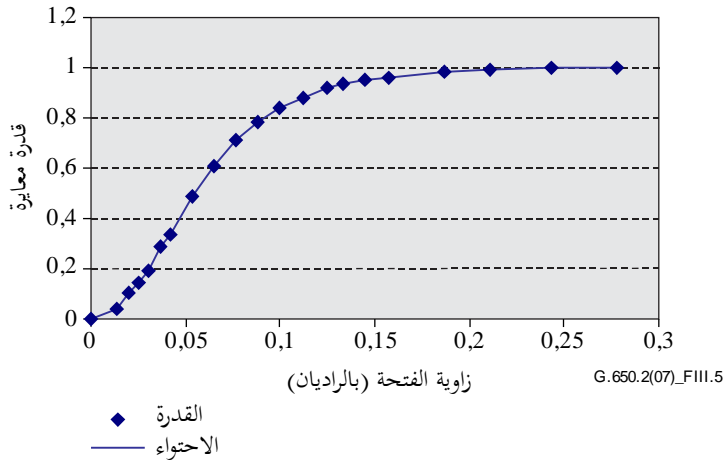
### 2.3.2.III الحسابات

#### 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  $\theta$  المقابلة لسوية الليف. وهذه القيم للقدرة تعادل إدراج توزيع القدرة في المجال البعيد المعايرة ( $F^2(\theta)$ )، وهو ما تشير إليه المعادلة (6-III).

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

يرد في الشكل 5.III مخطط للقدرة المرسله عبر فتحات كدالة لنصف الزاوية  $\theta$ .



الشكل 5.III - مخطط بيانات الفتحة المتغيرة المقيسة



تحتوي بيانات فتحة المجال البعيد، كما في المعادلة (7-III)، في دالة سلسلة كالدالة التربيعية:

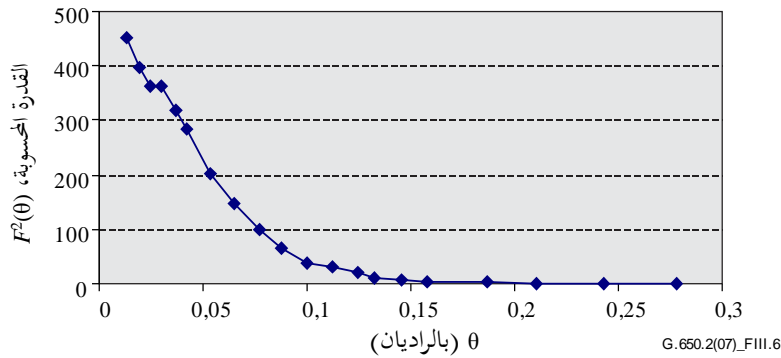
$$(7-III) \quad f(\theta) = A\theta^4 + B\theta^3 + C\theta^2 + D\theta^1 + E$$

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

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

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

$$F^2(\theta) = \text{مشتق}(\sin(\theta))$$

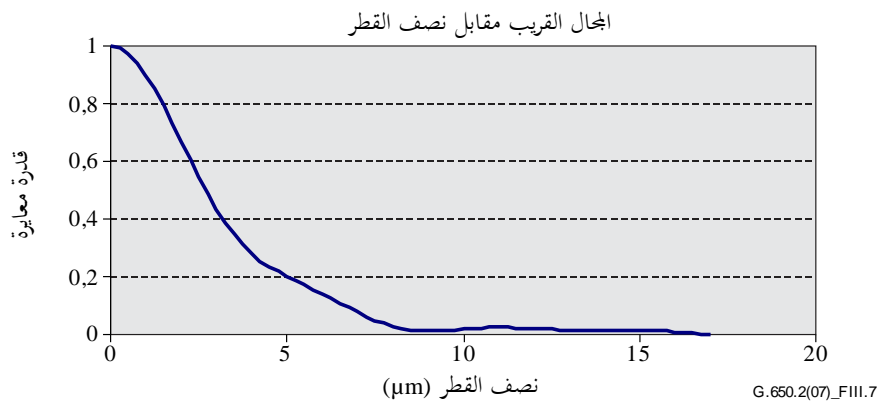


الشكل 6.III - مخطط توزيع FFP

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

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

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



الشكل 7.III - مخطط توزيع NFP

وتحتسب المنطقة الفعالة  $A_{\text{eff}}$  عندئذ انطلاقاً من توزيع المجال البعيد باستعمال المعادلة (10-III).

(10-III)

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

### 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.
- هـ) نمط كابت أسلوب الغمد.
- و) نمط الكاشف وأبعاده.
- ز) درجة حرارة العينة والظروف البيئية (عند الضرورة).
- ح) الدلالة على الدقة والتكرارية.
- ط) المنطقة الفعالة  $A_{\text{eff}}$ .
- ي) مخطط  $A_{\text{eff}}(\lambda)$  (إذا اقتضى الأمر).

### 3.III تقنية مسح المجال القريب (NFS)

#### 1.3.III اعتبارات عامة

تحدد المنطقة الفعالة ( $A_{\text{eff}}$ ) 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 [b-ITU-T G.650.1]).
- 2.2.3.III التشكيل (وفقاً للفقرة 2.2.1.1.5 من التوصية [b-ITU-T G.650.1]).
- 3.2.3.III ظروف الإطلاق (وفقاً للفقرة 3.2.1.1.5 من التوصية [b-ITU-T G.650.1]).
- 4.2.3.III كابت أسلوب الغمد (وفقاً للفقرة 4.2.1.1.5 من التوصية [b-ITU-T G.650.1]).
- 5.2.3.III النموذج (وفقاً للفقرة 5.2.1.1.5 من التوصية [b-ITU-T G.650.1]).
- 6.2.3.III جهاز المسح (وفقاً للفقرة 6.2.1.1.5 من التوصية [b-ITU-T G.650.1]).
- 7.2.3.III الكاشف (وفقاً للفقرة 7.2.1.1.5 من التوصية [b-ITU-T G.650.1]).
- 8.2.3.III المكبر (وفقاً للفقرة 8.2.1.1.5 من التوصية [b-ITU-T G.650.1]).
- 9.2.3.III حيازة البيانات (وفقاً للفقرة 9.2.1.1.5 من التوصية [b-ITU-T 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 ( $A_{\text{eff}}$ ) 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 ( $A_{\text{eff}}$ )

1 يُحسب المركز المتوسط

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

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

2 طي المظهر الجانبي للشدة

تحدد رتبة بيانات الوضع والشدة حول الموقع  $r_c$ ، بحيث تكون قيم اللاحقة السفلية للمواقع الأعلى أكبر من صفر وتكون قيم المواقع الأدنى أقل من صفر. وتعطى أقصى لاحقة سفلية بالقيمة  $n$ . وبذلك نحصل على طي المظهر الجانبي للشدة بالمعادلة التالية:

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

3 تُحسب الأعداد الصحيحة من المعادلة (12-III)

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

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

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

حيث  $r_0 - r_1 = \Delta r$ .

4 إتمام الحساب

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

يرد مثال في الشكل 7.III لنمط 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.
- هـ) نمط كابيت 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

(لا يشكل هذا التذييل جزءاً أساسياً من هذه التوصية.)

يوفر هذا التذييل موجزاً لبعض الحسابات الإحصائية للتشتت PMD. وتيسر وثيقة اللجنة الكهروتقنية الدولية [b-IEC/TR 61282-3] الحسابات والنظرية بطريقة أكثر اكتمالاً.

ملاحظة - توجد طرائق حساب أخرى ويرد تعريفها في الوثيقة [b-IEC/TR 61282-3] الصادرة عن اللجنة الكهروتقنية الدولية. ويشار إلى طريقة مونت كارلو هنا لأنها سهلة الوصف والأقل استخداماً للافتراضات.

#### 1.IV مقدمة

التشتت بأسلوب الاستقطاب (PMD) هو نعت إحصائي ويعرّف، بالنسبة للليف 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 المبلغه وقدرها  $\pm 15\%$  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 ترددي النظام في زمن معين وطول موجة معين تضبطه قيمة المهلة DGD، التي تتفاوت إحصائياً حول قيمة التشتت PMD. وإذا قدمت قيمة للتشتت PMD للليف 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 كبلًا. 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 مهلة DGD بالنسبة للوصلات المتسلسلة. وقيمة احتمال قدرها 0,01% تعتبر مقبولة 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  $PMD_0$ ، أو قيمة تصميم الوصلة وتُعرف هذه المواصفة بالطريقة 1.

يضببط حد الاحتمال لمهلة DGD عند  $6,5 \times 10^{-8}$  على أساس مختلف الاعتبارات المتعلقة بالنظام بما في ذلك احتمال وجود مكونات مولدة للتشتت PMD في الوصلات. وتصف وثيقة اللجنة الكهروتقنية الدولية [b-IEC/TR 61282-3] طريقة لتحديد حد أقصى (يعرّف 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  $6,5 \times 10^{-8}$  وتحدد قيمة  $DGD_{max}$  مدى 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 الكهروتقنية الدولية [b-IEC/TR 61282-3] 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 البيانات

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 التغيرات يشمل خطأ تطابق النتائج، يمكن أن تؤدي هذه الطريقة لتقدير توزيع قيم تشتت PMD للكبلات إلى المغالاة في تقدير  $PMD_0$ .

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 شريطة كون:

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

#### 3.IV حساب التشتت $PMD_0$ (مونت كارلو)

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

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

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

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

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  $PMD_0$ . وإذا كانت القيمة المحسوبة للتشتت PMD أقل من القيمة المحددة [0,5 ps/km<sup>1/2</sup>، يستوفي التوزيع الطريقة 1.

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

يستند هذا الحساب إلى حساب التشتت  $PMD_0$ . 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  $\times 10^{-8}$ )، 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،  $y_j$  و  $y_{j+1}$ ، تولد قيمة تسلسل 40 كبل،  $z_j$ ، بالطريقة التالية:

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

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

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

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

Microsoft Excel™ يعرف الدالة التي يمكن أن تحسب  $p_j$ ،  $GAMMADIST(x, alpha, beta, cumulative)$ . ويطلق على هذه الدالة:

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

وتعطي احتمال تجاوز المهلة  $DGD_{max}$  بالمعادلة التالية:

$$(5-IV) \quad P_F = \frac{1}{50\,000} \sum_j p_j$$

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

## بيليوغرافيا

- [[b-ITU-T G.650.1](#)] Recommendation ITU-T G.650.1 (2010), *Definitions and test methods for linear, deterministic attributes of single-mode fibre and cable.*
- [[b-ITU-T G.651.1](#)] Recommendation ITU-T G.651.1 (2007), *Characteristics of a 50/125  $\mu\text{m}$  multimode graded index optical fibre cable for the optical access network.*
- [[b-ITU-T G.652](#)] Recommendation ITU-T G.652 (2009), *Characteristics of a single-mode optical fibre and cable.*
- [[b-ITU-T G.653](#)] Recommendation ITU-T G.653 (2010), *Characteristics of a dispersion-shifted, single-mode optical fibre and cable.*
- [[b-ITU-T G.654](#)] Recommendation ITU-T G.654 (2012), *Characteristics of a cut-off shifted single-mode optical fibre and cable.*
- [[b-ITU-T G.655](#)] Recommendation ITU-T G.655 (2009), *Characteristics of a non-zero dispersion-shifted single-mode optical fibre and cable.*
- [[b-ITU-T G.656](#)] Recommendation ITU-T G.656 (2010), *Characteristics of a fibre and cable with non-zero dispersion for wideband optical transport.*
- [[b-ITU-T G.657](#)] Recommendation ITU-T G.657 (2012), *Characteristics of a bending-loss insensitive single-mode optical fibre and cable for the access network.*
- [[b-ITU-T G.663](#)] Recommendation ITU-T G.663 (2011), *Application-related aspects of optical amplifier devices and subsystems.*
- [[b-ITU-T G.666](#)] Recommendation ITU-T G.666 (2011), *Characteristics of polarization mode dispersion compensators and of receivers that compensate for polarization mode dispersion.*
- [[b-ITU-T G.671](#)] Recommendation ITU-T G.671 (2012), *Transmission characteristics of optical components and subsystems.*
- [b-IEC/TR 61282-3] IEC/TR 61282-3 (2006), *Fibre optic communication system design guides – Part 3: Calculation of link polarization mode dispersion.*
- [b-IEC/TR 61282-9] IEC/TR 61282-9 (2006), *Fibre optic communication system design guides – Part 9: Guidance on polarization mode dispersion measurements and theory.*
- [b-IEC 61315] IEC 61315 (2005), *Calibration of fibre-optic power meters.*
- [b-Kobyakov 2002] Kobyakov, A., Mehwendale, M., Vasilyev, M., Tsuda, S., Evans, A.F. (2002), Stimulated Brillouin scattering in Raman-pumped fibers: A theoretical approach, *Journal of Lightwave Technology*, **20**, pp. 1635–43.
- [b-Namihira 1994] Namihira, Y. (1994), Relationship between nonlinear effective area and mode field diameter for dispersion shifted fibres, *Electronics Letters*, **30**, pp. 262-264.
- [b-Press 1992] Press, W.H, Flannery, B.P, Teukolsky, S.A, Vetterling, W.T. (1992), *Numerical recipes in C: The art of scientific computing*, 2nd edition, Cambridge University Press.
- [b-Smith, 1972] Smith, R.G. (1972), Optical power handling capacity of low loss optical fibers as determined by stimulated Raman and Brillouin scattering, *Applied Optics*, **11**, pp. 2489–94.





## سلاسل التوصيات الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات

تنظيم العمل في قطاع تقييس الاتصالات	A السلسلة
مبادئ التعريف والحاسبة والقضايا الاقتصادية والقضايا الاقتصادية والسياساتية المتصلة بالاتصالات/تكنولوجيا المعلومات والاتصالات على الصعيد الدولي	D السلسلة
التشغيل العام للشبكة والخدمة الهاتفية وتشغيل الخدمات والعوامل البشرية	E السلسلة
خدمات الاتصالات غير الهاتفية	F السلسلة
أنظمة الإرسال ووسائطه والأنظمة والشبكات الرقمية	G السلسلة
الأنظمة السمعية المرئية والأنظمة متعددة الوسائط	H السلسلة
الشبكة الرقمية متكاملة الخدمات	I السلسلة
الشبكات الكبلية وإرسال إشارات تلفزيونية وبرامج صوتية وإشارات أخرى متعددة الوسائط	J السلسلة
الحماية من التداخلات	K السلسلة
البيئة وتكنولوجيا المعلومات والاتصالات، وتغير المناخ، والمخلفات الإلكترونية، وكفاءة القدرة، وإنشاء الكبلات وغيرها من عناصر المنشآت الخارجية وتركيبها وحمايتها	L السلسلة
إدارة الاتصالات بما في ذلك شبكة إدارة الاتصالات وصيانة الشبكات	M السلسلة
الصيانة: الدارات الدولية لإرسال البرامج الإذاعية الصوتية والتلفزيونية	N السلسلة
مواصفات تجهيزات القياس	O السلسلة
المطابق وطرائق التقييم الذاتية والموضوعية	P السلسلة
التبديل والتشوير، والقياسات والاختبارات المرتبطة بهما	Q السلسلة
الإرسال البرقي	R السلسلة
التجهيزات المطرافية للخدمات البرقية	S السلسلة
المطابق الخاصة بالخدمات التليماتية	T السلسلة
التبديل البرقي	U السلسلة
اتصالات البيانات على الشبكة الهاتفية	V السلسلة
شبكات البيانات والاتصالات بين الأنظمة المفتوحة ومسائل الأمن	X السلسلة
البنية التحتية العالمية للمعلومات، والجوانب الخاصة بروتوكول الإنترنت وشبكات الجيل التالي وإنترنت الأشياء والمدن الذكية	Y السلسلة
اللغات والجوانب العامة للبرمجيات في أنظمة الاتصالات	Z السلسلة