الاتحـــــاد الدولـــــي للاتصـــــالات

ITU-T G.691

(2006/03)

قطـــاع تقييس الاتصـــالات
في الاتحاد الدولي للاتصالات

السلسلة G: أنظمة الإرسال ووسائطه والأنظمة والشبكات الرقمية

خصائص وسائط الإرسال – خصائص المكونات والأنظمة الفرعية البصرية

السطوح البينية البصرية في الأنظمة STM-64 وغيرها من أنظمة التراتب الرقمي المتزامن (SDH) أحادية القناة بمكبرات بصرية

التوصية ITU-T G.691

توصيات السلسلة G الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات

أنظمة الإرسال ووسائطه والأنظمة والشبكات الرقمية

التوصيلات والدارات الهاتفية الدولية	G.199–G.100
الخصائص العامة المشتركة لكل الأنظمة التماثلية بموجات حاملة	G.299–G.200
الخصائص الفردية للأنظمة الهاتفية الدولي بموجات حاملة على خطوط معدنية	G.399–G.300
الخصائص العامة للأنظمة الهاتفية الدولية اللاسلكية، أو الساتلية والتوصيل البيني مع الأنظمة على خطوط معدنية	G.449–G.400
تنسيق المهاتفة الراديوية والمهاتفة على الخطوط	G.499–G.450
تجهيزات اختبار	G.599–G.500
عموميات	G.609–G.600
أزواج الكبلات المتناظرة	G.619–G.610
أزواج الكبلات البرية متحدة المحور	G.629–G.620
الكبلات البحرية	G.649–G.630
كبلات الألياف البصرية	G.659–G.650
خصائص المكونات والأنظمة الفرعية البصرية	**G.699–G.660**
التجهيزات المطرافية الرقمية	G.799–G.700
الشبكات الرقمية	G.899–G.800
الأقسام الرقمية وأنظمة الخطوط الرقمية	G.999–G.900
نوعية الخدمة وأداء الإرسال – الجوانب الخاصة والجوانب المتعلقة بالمستعمل	G.1999–G.1000
خصائص وسائط الإرسال	G.6999–G.6000
التجهيزات المطرافية الرقمية	G.7999–G.7000
الشبكات الرقمية	G.8999–G.8000

يرجى الرجوع إلى قائمة التوصيات الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات للحصول على مزيد من التفاصيل.

السطوح البينية البصرية في الأنظمة STM-64 وغيرها من أنظمة التراتب الرقمي المتزامن (SDH) أحادية القناة بمكبرات بصرية

ملخص

تقدم هذه التوصية المعلمات والقيم الخاصة بالسطوح البينية البصرية في الأنظمة أحادية القناة للمدى البعيد STM-4 وSTM-16 وSTM-64 التي تستخدم مكبرات أولية بصرية ومكبرات قدرة بصرية. وتقدم أيضاً معلمات السطح البيني البصري في الأنظمة أحادية القناة "داخل المكتب" وللمدى القصير بدون تكبير بصري.

المصدر

وافقت لجنة الدراسات 15 (2005-2008) التابعة لقطاع تقييس الاتصالات في الاتحاد على التوصية G.691 بتاريخ 29 مارس 2006، وفقاً للإجراء المحدد في التوصية ITU-T A.8.

تمهيـــد

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

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

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

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

ملاحظة

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

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

حقوق الملكية الفكرية

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

وعند الموافقة على هذه التوصية، كان 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 2006

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

المحتويات

الصفحة

1 نطاق التطبيق 1

2 المراجع 1

3 المصطلحات والتعاريف 2

1.3 التعاريف 2

2.3 المصطلحات المعرّفة في توصيات أخرى 2

4 المختصرات 3

5 تصنيف السطوح البينية البصرية 4

1.5 التطبيقات 4

2.5 التشكيلة المرجعية والتشكيلات المادية 7

6 تعاريف المعلمات 8

1.6 مدى أطوال موجة التشغيل في الأنظمة 8

2.6 المرسل 8

3.6 المسير البصري 12

4.6 المستقبل 15

7 قيم المعلمات البصرية 16

8 طريقة التقنية البصرية 22

1.8 فرضيات التصميم 22

2.8 التأثيرات اللاخطية 23

3.8 تكييف التشتت 23

4.8 المكبرات المستقلة 26

5.8 اعتبارات التطوير 26

الملحق A – قيم الجزاء في نسبة الخمود والمخطط على شكل العين 28

1.A معلمات القياس 28

2.A الجزاء في نسبة الخمود 29

3.A الجزاء في مخطط شكل العين 29

4.A حساسية المستقبل 29

التذييل I التشتت بأسلوب الاستقطاب 30

1.I التوزيع الإحصائي للتشتت بأسلوب الاستقطاب 30
2.I جزاء المسير الناجم عن التشتت بأسلوب الاستقطاب (PMD) 31
التذييل II وصف التشكيل ذاتي الطور كطريقة تكييف التشتت 33
1.II أسس التشكيل ذاتي الطور (SPM) 33
2.II التشكيل ذاتي الطور كتقنية تكييف التشتت 33
3.II انقطاع التشكيل SPM 33
4.II قيم المعلمات البصرية في التطبيقات 34
5.II نمط المصدر 34
6.II المخطط على شكل العين 34
7.II المستقبل 34
التذييل III تكييف التشتت باستخدام إرسال التشتت 34
1.III مقدمة 34
2.III مبدأ تقنية الإرسال بالتشتت (DST) 35
3.III مخطط شكل العين للمستقبل البصري بعد إرسال ليف مشتت 36
4.III تعاريف المعلمات 36
التذييل IV قياس معلمة التشكيل α في الإشارة البصرية المرسلة 41
1.IV إجراء القياس 41
2.IV المتطلبات التقنية لتجهيزات القياس 41
3.IV المعايرة 42
4.IV إجراء القياس 43
5.IV معالجة المعطيات 43
6.IV الأمثلة وتفسير المعطيات 43
التذييل V اعتبارات التطوير 44

السطوح البينية البصرية في الأنظمة STM-64 وغيرها من أنظمة التراتب الرقمي المتزامن (SDH) أحادية القناة بمكبرات بصرية

1 نطاق التطبيق

تهدف هذه التوصية إلى رصد خصائص السطح البيني البصري بغية التمكن من المواءمة الأفقية (بين عدة مصنعين) لأنظمة أسلوب النقل المتزامن STM-4 وSTM-16 وSTM-64 أحادية القناة العاملة "بين المكاتب" التي تستخدم مكبرات بصرية أولية و/أو مكبرات لتقوية القدرة البصرية. وهي تضم أيضاً خصائص تشغيل الأنظمة أحادية القناة وقصيرة المدى STM-64 "داخل المكتب" والتي لا تتطلب تكبيراً بصرياً وتوفر المواءمة الأفقية.

لا تشمل هذه التوصية استعمال مكبرات الخط.

تقوم هذه التوصية على أساس استعمال ليف واحد لكل اتجاه.

2 المراجع

تتضمن التوصيات التالية لقطاع تقييس الاتصالات وغيرها من المراجع أحكاماً تشكل من خلال الإشارة إليها في هذا النص جزءاً لا يتجزأ من هذه التوصية. وقد كانت جميع الطبعات المذكورة سارية الصلاحية في وقت النشر. ولما كانت جميع التوصيات والمراجع الأخرى تخضع إلى المراجعة، نحث جميع المستعملين لهذه التوصية على السعي إلى تطبيق أحدث طبعة للتوصيات والمراجع الواردة أدناه. وتُنشر بانتظام قائمة توصيات قطاع تقييس الاتصالات السارية الصلاحية. والإشارة إلى وثيقة في هذه التوصية لا يضفي على الوثيقة في حد ذاتها صفة التوصية.

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

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

[3] التوصية ITU-T G.655 (2006)، *خصائص الكبلات والألياف البصرية أحادية الأسلوب وذات التشتت المتخالف غير المعدوم*.

[4] التوصية ITU-T G.662 (2005)، *الخصائص العامة لأجهزة المكبرات البصرية وأنظمتها الفرعية*.

[5] التوصية ITU-T G.663 (2000)، *جوانب تتعلق بتطبيق أجهزة المكبرات البصرية وأنظمتها الفرعية*.

[6] التوصية ITU-T G.664 (2006)، *إجراءات ومتطلبات السلامة البصرية المطبقة في أنظمة النقل البصرية*.

[7] التوصية ITU-T G.671 (2005)، *خصائص إرسال المكونات البصرية المنفعلة*.

[8] التوصية ITU-T G.693 (2005)، *السطوح البينية البصرية للتوصيلات المحلية*.

[9] التوصية ITU-T G.707/Y.1322 (2003)، *السطح البيني لعقدة الشبكة للتراتب الرقمي المتزامن*.

[10] التوصية ITU-T G.955 (1996)، *أنظمة الخط الرقمي المرتكزة على تراتب 1544 kbit/s و2048 kbit/s على كبلات الألياف البصرية.*

[11] التوصية ITU-T G.957 (2006)، *السطوح البينية للتجهيزات والأنظمة المتعلقة بالتراتب الرقمي المتزامن.*

[12] التوصية ITU-T G.959.1 (2006)، *السطوح البينية للطبقة المادية لشبكة النقل البصرية.*

3 المصطلحات والتعاريف

1.3 التعاريف

تعرّف هذه التوصية المصطلحات التالية:

1.1.3 مسير (بصري) رئيسي: وصلة ألياف بين النقطة S من تجهيز المرسل والنقطة R من تجهيز المستقبل. ولا يضم المسير الرئيسي أي مسير مساعد.

2.1.3 السطوح البينية في المسير الرئيسي: سطوح بينية مع وصلة الألياف المحددة في هذه التوصية.

3.1.3 مسير (بصري) مساعد: توصيل بيني بصري بين مرسل أو مستقبل بدون تكبير وجهاز بصري (مستقل) للتكبير الأولي أو تكبير القدرة. ولا يندرج المسير المساعد ضمن المسير الرئيسي.

4.1.3 مرسل مستجيب (بصري): تجميع مرسل ومستجيب مع أو بدون قولبة النبضات وإعادة تزامنها، وهو يحوِّل الإشارة البصرية إلى إشارة بصرية أخرى من خلال تحويلها في المجال الكهربائي.

2.3 المصطلحات المعرّفة في توصيات أخرى

تستخدم هذه التوصية المصطلحات التي ورد تعريفها في توصيات أخرى صادرة عن القطاع ITU-T:

مكبر قدرة: (التوصية ITU-T G.662)

مكبر بالألياف معالَج بالإيربيوم: (التوصية ITU-T G.661)

تقنية الوصل: (التوصية ITU-T G.957)

مواءمة طولية: (التوصية ITU-T G.955)

جهاز مكبر بصري: (التوصية ITU-T G.662)

نظام فرعي للتكبير البصري: (التوصية ITU-T G.662)

مكبر بصري: (التوصية ITU-T G.662)

مكبر بألياف بصرية: (التوصية ITU-T G.662)

الخسارة البصرية في العودة: (التوصية ITU-T G.957)

مستقبل بتكبير بصري: (التوصية ITU-T G.662)

مرسل بتكبير بصري: (التوصية ITU-T G.662)

مكبر أولي: (التوصية ITU-T G.662)

النقطتان المرجعيتان S/R: (التوصية ITU-T G.955)

مؤاءمة أفقية: (التوصية ITU-T G.957)

4 المختصرات

تستخدم هذه التوصية المختصرات التالية:

APD ثنائي المساري ضوئي انهياري *(Avalanche Photo Diode)*

ASE إرسال تلقائي مكبَّر *(Amplified Spontaneous Emission)*

ASK تشكيل بزحزحة الاتساع *(Amplitude Shift Keying)*

BER نسبة الأخطاء في البتات *(Bit Error Ratio)*

DA تكييف التشتت *(Dispersion Accommodation)*

DGD زمن الانتشار التفاضلي في مجموعة الترددات *(Differential Group Delay)*

DST إرسال بالتشتت *(Dispersion Supported Transmission)*

EX نسبة الخمود *(Extinction ratio)*

FEC تصحيح الخطأ الأمامي *(Forward Error Correction)*

ffs يتطلب مزيداً من الدراسة *(For Further Study)*

FM تشكيل التردد *(Frequency Modulation)*

FSK التشكيل بزحزحة التردد *(Frequency Shift Keying)*

FSR المدى الطيفي الحر *(Free Spectral Range)*

FWHM عرض كامل الطيف عند منتصف الارتفاع *(Full Width at Half Maximum)*

I داخل المكتب *(Intra-Office)*

IM تشكيل الشدّة *(Intensity Modulation)*

L طويل المدى *(Long-Haul)*

MLM أسلوب متعدد الأطوال *(Multi-Longitudinal Mode)*

MPI سطح بيني في المسير الرئيسي *(Main Path Interface)*

MPN ضوضاء توزيع الأساليب *(Mode Partition Noise)*

NA لا يطبق *(Not Applicable)*

NRZ عدم العودة إلى الصفر *(Non-Return to Zero)*

ORL الخسارة البصرية في العودة *(Optical Return Loss)*

PCH تشكيل أوّلي *(Prechirp)*

PDC معوّض منفعل للتشتت *(Passive Dispersion Compensator)*

PIN "نمط p" – ملازم – "نمط n" *("p-type" – intrinsic – "n-type")*

PMD تشتت بأسلوب الاستقطاب *(Polarization Mode Dispersion)*

PRBS تتابع بتات شبه عشوائي *(Pseudo-Random Binary Sequence)*

PSP حالات الاستقطاب الرئيسية *(Principal State of Polarization)*

RMS متوسط الجذر التربيعي *(Root Mean Square)*

S قصير المدى *(Short-Haul)*

SDH تراتب رقمي متزامن *(Synchronous Digital Hierarchy)*

SLM أسلوب وحيد الطول *(Single-Longitudinal Mode)*

SMSR نسبة كبت الأساليب الجانبية *(Side Mode Suppression Ratio)*

SNR نسبة الإشارة إلى الضوضاء *(Signal to Noise Ratio)*

SOP حالة الاستقطاب *(State of Polarization)*

SPM تشكيل ذاتي الطور *(Self Phase Modulation)*

STM-N وحدة نقل متزامنة من السوية N *(Synchronous Transport Module of order N)*

U مسافة فائقة المدى *(Ultra Long-Haul)*

V مسافة طويلة جداً *(Very Long-Haul)*

WDM تعدد إرسال بتقسيم طول الموجة *(Wavelength Division Multiplex)*

5 تصنيف السطوح البينية البصرية

1.5 التطبيقات

تحدد هذه التوصية السطوح البينية البصرية في أنظمة الخطوط أحادية القناة "بين المكاتب" لأغراض تطبيقات اتصالات الأرض طويلة المدى من وحدة STM-4 إلى وحدة STM-64. وهي امتداد للتوصية ITU-T G.957 التي تستند إلى إضافة المكبرات البصرية ومعدلات المعطيات في الوحدات STM-64. ولا تتناول هذه التوصية بالدراسة مكبرات الخط.

وتعرض تعاريف شفرات تطبيق التوصية ITU-T G.957 على النحو التالي:

التطبيق – السوية STM. لاحقة رقمية،

حيث يعني "التطبيق" المسافة المستهدفة وهي: I (داخل المكتب) وS (قصيرة المدى) وL (طويلة المدى) وV (لمسافة طويلة جداً) وU (لمسافة فائقة المدى).

وتدل اللاحقة الرقمية على ما يلي:

1 استعمال مصادر بطول موجة اسمية قدره 1310 nm في ليف (معياري) مطابق للتوصية ITU-T G.652؛

2 استعمال مصادر بطول موجة اسمية قدره 1550 nm في ليف مطابق للتوصية ITU-T G.652؛

3 استعمال مصادر بطول موجة اسمية قدره 1550 nm في ليف (بتشتت متخالف) مطابق للتوصية ITU-T G.653؛

5 استعمال مصادر بطول موجة اسمية قدره 1550 nm في ليف (بتشتت متخالف غير معدوم) مطابق للتوصية ITU-T G.655.

فيما يخص بعض رموز الأسلوب I-64، يوضع الحرف "r" بعد اللاحقة الرقمية للدلالة على مسافة مستهدفة مختصرة. وهذه الرموز التي تحيل إلى مجموعة "داخل المكتب" محدودة التشتت. ويمكن الحصول على نفس المسافة المستهدفة بطرق تكنولوجية أخرى تتطلب مزيداً من الدراسة (مثال: طريقة السطح البيني الموازي).

تستند المسافات المستهدفة إلى فواصل طول كل منها 40 km تقريباً لموجة طولها 1550 nm و20 km لموجة طولها 1310 nm باستثناء التطبيقات قصيرة المدى جداً و"داخل المكتب". ولا تستخدم المسافات المستهدفة إلاَّ للتصنيف وليس لإعداد المواصفات. وتقدر بافتراض خسارة قدرها 0,275 dB/km في الليف المركب بما فيها الجدالات وهوامش الكبلات في أنظمة الموجات 1550 nm و0,55 dB/km في أنظمة الموجات 1310 nm. ومن وجهة نظر عملية، تم تحديد الخسارات عبر المسافة بنسبة 11 km 20/dB في الموجات بطول 1310 nm ونسبة 11 km 40/dB في الموجات بطول 1550 nm، ما عدا حالات التطبيق قصيرة المدى و"داخل المكتب". وقد لا تنطبق هذه القيم عملياً على جميع كبلات الألياف، إذ تكون المسافات الفعلية التي يمكن بلوغها أقصر.

المواصفتان الرئيسيتان في هذا السياق هما مدى التوهين وأقصى تشتت يسمح به. وتستخدم المسافة المستهدفة أساساً في تحديد التفاوت المسموح به للتشتت. ويحسب على أنه حاصل ضرب الحد الأقصى لتشتت الليف في المسافة المستهدفة. وبذلك يتم تطبيق قيمة تفاوت إضافي في الأنظمة، مما يتيح استعمالاً كاملاً لتمديدات ألياف التوهين المنخفض. وتلخص الجداول 1b و1c و1c شفرات التطبيق الواردة في هذه التوصية.

الجدول G.691/1a – تصنيف السطوح البينية البصرية على أساس التطبيقات والإشارة إلى شفرات التطبيق I

التطبيقات						
طول الموجة الاسمية للمصدر [nm]	1310	1310	1550	1550	1550	1550
نمط الليف	G.652	G.652	G.652	G.652	G.652	G.653	G.655
المسافة المستهدفة [km]	0.6	2	2	25	25	25
الوحدة STM-64	I-64.1r	I-64.1	I-64.2r	I-64.2	I-64.3	I-64.5
معلمات واردة في التوصية	G.693	G.693	G.693	G.959.1	G.959.1	G.959.1
استناداً إلى الشفرة	VSR600-2R1	VSR2000-2R1	VSR2000-2L2	P1I1-2D2	P1I1-2D3	P1I1-2D5
الملاحظة 1 – قيم المسافات المستهدفة تقريبية ولا تستعمل إلا للتصنيف وليس لإعداد المواصفات.						
الملاحظة 2 – يرد تعريف الشفرات I وS وL للوحدات STM-1 وSTM-4 وSTM-16 في التوصية ITU-T G.957.						

الجدول G.691/1b – تصنيف السطوح البينية البصرية على أساس التطبيقات والإشارة إلى شفرات التطبيق S وL

التطبيقات						
طول الموجة الاسمية للمصدر [nm]	1310	1550	1550	1310	1550	1550
نمط الليف	G.652	G.652	G.653	G.652	G.655	G.652	G.653
المسافة المستهدفة [km]	20	40	40	40	40	80	80
الوحدة STM-64	S-64.1	S-64.2	S-64.3	L-64.1	S-64.5	L-64.2	L-64.3
معلمات واردة في التوصية	G.959.1	G.959.1	G.959.1	G.959.1	G.959.1	الجدول 5c	الجدول 5c
استناداً إلى الشفرة	P1S1-2D1	P1S1-2D2	P1S1-2D3	P1L1-2D1	P1S1-2D5		
الملاحظة 1 – قيم المسافات المستهدفة تقريبية ولا تستعمل إلا للتصنيف وليس لإعداد المواصفات.							
الملاحظة 2 – يرد تعريف الشفرات I وS وL للوحدات STM-1 وSTM-4 وSTM-16 في التوصية ITU-T G.957.							

الجدول G.691/1c – تصنيف السطوح البينية البصرية على أساس التطبيقات
مع الإشارة إلى شفرات التطبيق V وU

التطبيقات					
طول الموجة الاسمية للمصدر [nm]	1310	1550	1550	1550	1550
نمط الليف	G.652	G.652	G.653	G.652	G.653
المسافة المستهدفة [km]	60	120	120	160	160
الوحدة STM-1	–	–	–	–	–
الوحدة STM-4	V-4.1	V-4.2	V-4.3	U-4.2	U-4.3
المعلمات الواردة في	الجدول 3	الجدول 3	الجدول 3	الجدول 3	الجدول 3
المسافة المستهدفة [km]	60	120	120	160	160
الوحدة STM-16	–	V-16.2	V-16.3	U-16.2	U-16.3
المعلمات الواردة في		الجدول 4	الجدول 4	G.959.1	G.959.1
الشفرة				P1U1-1A2	P1U1-1A3
المسافة المستهدفة [km]	60	120	120		
الوحدة STM-64	–	V-64.2	V-64.3	–	–
المسافة المستهدفة [km]		الجدول 5d	الجدول 5d		
الملاحظة 1 – المسافة المستهدفة تقريبية ولا تستعمل إلا للتصنيف وليس لإعداد المواصفات.					

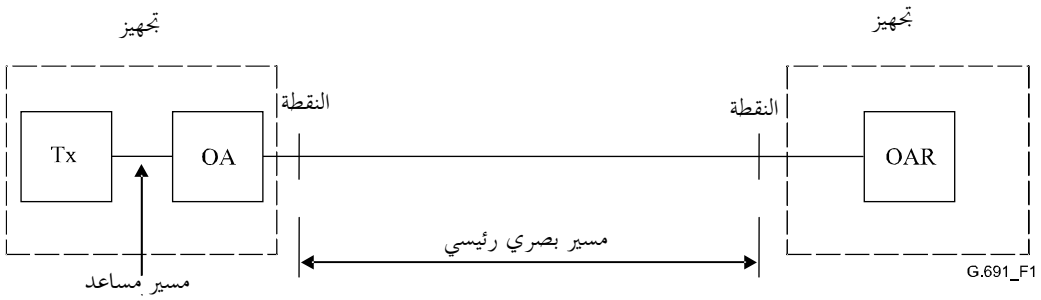
2.5 التشكيلة المرجعية والتشكيلات المادية

النقطة الرئيسية في هذه التوصية هي تحديد السطوح البينية في المسير الرئيسي (MPI). والسطوح MPI هي سطوح بينية بتمديد ألياف طويلة المدى. وتحدد خصائص السطح البيني في المسير الرئيسي متطلبات التجهيزات المطرافية. ويتم تنظيم التجهيزات المطرافية مبدئياً بطرق مختلفة بغية استيفاء المواصفات المطلوبة للسطوح MPI. وهذا يتعلق بالخصائص مثل سوية التكامل أو طريقة تكييف التشتت أو استعمال مكبرات بصرية مستقلة.

ونتيجةً لتعدد التجهيزات الفاعلة والمنفعلة الموجودة في المسير البصري (مكبرات ومعددات إرسال وغيرها) والمذكورة في التوصيات المتصلة بأنظمة أحادية القناة ومتعددة القنوات مع المكبرات البصرية، فإنه يجب تفسير النقطتين المرجعيتين S وR بالمعنى النوعي وشرحهما بالتفصيل في كل نظام. ومن أجل تمييز النقطتين المرجعيتين S وR للسطوح MPI عن النقاط المرجعية الأخرى (مثل النقطة S في التوصية ITU-T G.957)، يُشار إلى طرفي المرسل والمستقبل للسطح البيني في المسير الرئيسي بالمختصرين MPI-S وMPI-R على التوالي، وذلك عند استعمالهما في السياق العام.

وتسمى مسيرات التوصيل البيني البصري (حبال التوصيل) بين جميع الأجهزة البصرية في التجهيزات المطرافية، في حال وجودها، باسم "المسيرات المساعدة". ولذا فإن السطوح البينية لأنظمة خطوط الألياف البصرية تقدم في هذه التوصية على النحو المبين في الشكل 1.

وتظهر في الشكل 1 جهة الإرسال على شكل مرسل موصول مع جهاز مكبر بصري مستقل عن طريق مسير مساعد، بينما يظهر جهة المستقبل مستقبل بتكبير بصري يمثل سطحاً بينياً مباشراً مع المسير الرئيسي.



الشكل G.691/1 – مثال لوصلة بصرية مع النقطتين المرجعيتين المحددتين في هذه التوصية

6 تعاريف المعلمات

تمثل جميع قيم المعلمات قيم الحالة الأسوأ ويفترض أن تستوفى الشروط العادية للتشغيل (أي شرطي الحرارة والرطوبة)، بما في ذلك آثار التقادم، وتتحدد المعلمات نسبة إلى هدف تصميم قسم بصري بنسبة أخطاء في البتات (BER) لا يتجاوز 10^{-12} لأي مجموعة معلمات في الأمدية المبينة في الجداول بالنسبة إلى كل نظام محدد.

وتشفير الخط البصري الذي استعمل في السطوح البينية للأنظمة حتى نظام الوحدة STM-64 ضمناً، هو تشفير إثنيني دون العودة إلى الصفر (NRZ) مخلوط طبقاً لأحكام التوصية ITU-T G.707/Y.1322.

1.6 مدى أطوال موجة التشغيل في الأنظمة

مدى أطوال موجة التشغيل هو أقصى مدى مقبول لطول موجة المصدر. وبالإمكان انتقاء طول موجة المصدر في هذا المدى لأغراض تطبيقات مكبر مختلفة وانحطاطات مختلفة متعلقة بالألياف. وينبغي أن يمثل المستقبل الحد الأدنى لمدى أطوال موجة التشغيل الذي يقابل الحد الأقصى للمدى المقبول لطول موجة المصدر.

ويتحدد مدى أطوال موجة التشغيل في أنظمة الإرسال بالألياف البصرية أساساً بخصائص التوهين والتشتت في مختلف أنماط الألياف والمصادر. وتضم التوصية ITU-T G.957 عرضاً مفصلاً لهذه الجوانب. وفي أنظمة المدى الطويل مع المكبرات البصرية التي تتناولها هذه التوصية بالدراسة فإن مدى أطوال موجة التشغيل يخضع لمزيد من التقييدات بوجود هذه المكبرات البصرية بالذات.

ملاحظة – عند استعمال مرشاح بطول موجة ثابت أو متغير قبل المستقبل من أجل استبعاد الإرسال التلقائي المكبر (ASE) قد يؤدي ذلك إلى الحد من نطاق طول موجة التشغيل وإلى عدم ضمان الموائمة الأفقية.

2.6 المرسل

1.2.6 الخصائص الطيفية

لا يتوقع أن تتمكن القياسات الطيفية بمفردها من ضمان المواءمة الأفقية ويستحسن اعتبار معلمات القياس ضرورية لذلك دون أن تكون كافية. ويشار حالياً إلى بعض قيم هذه المعلمات الطيفية. وطالما لم تتوفر هذه القيم، لا يمكن ضمان المواءمة الأفقية في هذه الأنظمة.

1.1.2.6 عرض الطيف الأقصى لمصادر الأسلوب وحيد الطول (SLM)

يتحدد عرض الطيف فيما يخص المصادر بالأسلوب SLM بأنه مجمل عرض الذروة الطيفية الكبرى مقيساً على بعد 20 dB تحت الاتساع الأقصى للذروة.

يُستعمل المتوسط الزمني الأقصى لعرض الطيف أساساً من أجل الاتقاء من التشكيل المفرط في أشعة الليزر المشكّلة مباشرة. وتخصص مثل هذه المصادر عموماً للتطبيقات ذات التشتت المنخفض (مثال: الوحدة STM-4 وأنظمة الليف الواردة في التوصية ITU-T G.653)، ولكنها تستعمل أيضاً في عدد من الأنظمة ذات التشتت العالي.

وتستخدم أنظمة التشتت العالي (وبخاصة النظامين STM-16 أو STM-64 بالليف G.652) عادة مصادر تشكيل. وتعمل الأنظمة STM-64 بالليف G.652 بشكل خاص قرب حد التشتت النمطي أو في هذا الحد بالذات. وبناء على ذلك من الضروري تحديداً أن تكون أطياف قدرة المصدر لهذه الأنظمة مثالية عملياً. ويصبح تعريف عرض الطيف الأقصى رغماً من صلاحيته، أقل فائدة وتصبح معلمة التشكيل المعلمة الأكثر أهمية لمصادر التشكيل.

2.1.2.6 عرض الطيف الأقصى لمصادر الأسلوب متعدد الطول (MLM)

إن متوسط الجذر التربيعي (RMS) الأقصى لعرض الطيف أو الانحراف النمطي σ (nm) للتوزيع الطيفي لليزر بالأسلوب MLM يراعي جميع أساليب الليزر التي لا تزيد عن 20 dB تحت أسلوب الذروة. ولا تطلب هذه المواصفة إلا من النظام المجهز بليزر بالأسلوب MLM وطول موجة 1310 nm.

3.1.2.6 معلمات الارتجاج (Chirp)

تتحدد معلمة ارتجاج تردد المصدر (وتسمى أيضاً المعلمة α) بالصيغة التالية:

$$\alpha = \frac{\frac{d\varphi}{dt}}{\frac{1}{2P}.\frac{dP}{dt}}$$

حيث φ هو الطور البصري للإشارة وP هي قدرتها. وتجدر الإشارة إلى أن معلمة الارتجاج (Chirp)، في هذا التعريف ليست ثابتة أثناء النبضة. وبالتالي قد تمثل النبضة قيمة متوسطة معدومة لمعلمة التشكيل دون أن تكون خالية من الارتجاج (Chirp).

تقابل معلمة الارتجاج (Chirp) الإيجابية زحزحة إيجابية للتردد (زحزحة نحو البنفسجي) في الحافة الصاعدة للنبضة وتقابل زحزحة سالبة للتردد (زحزحة نحو الأحمر) في الحافة الهابطة للنبضة. ويكون للمشكِّل عموماً معلمة ارتجاج (Chirp) تتراوح قيمتها بين –1 rad و+1 rad، بينما يمثل تشغيل مؤقت لليزر معياري عامل انضغاط نبضي (Chirp) تتراوح قيمته بين 10 rad و100 rad.

ونظراً إلى أن عدة أنظمة في هذه التوصية تعمل قرب حد التشتت النمطي أو ضمن هذا الحد بالذات، فمن الضروري أن تكون أطياف مصدرها مثالية تقريباً. ومواصفة ارتجاج التردد ضرورية للتحكم بالإشارة ووصف سلوكها من حيث الطور، الأمر الذي تصعب رؤيته في طيف القدرة المحدد بالمعلمات الأخرى.

ويمكن استعمال سلوك الإشارة من حيث الطور لرفع مستوى جودة نظام ما حتى الذروة، كأن يستعمل انضغاط النبضة المستحثة بالارتجاج مثلاً. ويمكن استعماله أيضاً من أجل تغيير السلوك اللاخطي لإشارات تستحثها القدرة. وهذا التفاعل معقد مما قد يؤدي إلى تغيير الأمدية المسموح بها لهذه المعلمة تبعاً لشفرة التطبيق وغيرها من معلمات النظام.

يتضمن التذييل IV طريقة لاختبار تشكيل المصدر.

4.1.2.6 نسبة كبت الأساليب الجانبية

تتحدد نسبة كبت الأساليب الجانبية (SMSR) بأنها نسبة أعلى ذروة لكامل الطيف المصدر إلى الذروة التي تليها مباشرة. وينبغي أن تكون الاستبانة الطيفية للقياس أفضل (أي عرض نطاق المرشاح البصري أقل) من أقصى عرض طيفي كما ورد تحديده أعلاه. وقد تقع أكبر ذروة ثانية بجوار الذروة الرئيسية أو بعيدة عنها.

ملاحظة – لا تعتبر في إطار هذا التعريف، قيم ذروة الطيف التي يفصلها تردد الميقاتية عن أكبر ذروة بأنها أساليب جانبية.

تهدف مواصفة النسبة SMSR إلى التقليص إلى أكبر حد ممكن من حدوث انخطاطات في النسبة BER الناجمة عن ضوضاء توزيع الأساليب (MPN). وبما أن للضوضاء MPN تأثيراً مؤقتاً وأن احتمال حدوثها ضعيف، فبإمكان قياسات النسب SMSR في تتابعات البتات شبه العشوائية (PRBS) أو في الإشارات المستمرة أن تتجاهل نوعاً ما الضوضاء MPN. ولا تصلح مواصفة النسبة SMSR إلا للمصدر الليزري بأسلوب وحيد الطول (SLM).

5.1.2.6 كثافة قدرة الطيف القصوى

تتحدد كثافة قدرة الطيف (البصرية) القصوى بأنها أعلى معدل زمني لسوية القدرة مع فواصل تردد في مدى تردد قدره 10 MHz، وذلك على طول الطيف المشكل للإشارة. وينبغي إجراء القياس باستبانة أفضل (أي مع عرض نطاق مرشاح بصري أدنى) من 10 MHz لعرض كامل الطيف عند منتصف الارتفاع (FWHM).

وتستعمل هذه المعلمة لتجنب الدخول في حالة الانتثار Brillouin في المصادر عالية القدرة التي قد تكون عروض خطها الملازمة ضيقة مثل تجميعات الليزر والمشكِّل والمكبِّر. غير أن المواصفة تطبق على جميع أنماط المصادر.

2.2.6 متوسط القدرة المحقونة

متوسط القدرة المحقونة في النقطة MPI-S هو متوسط قدرة تتابع معطيات شبه عشوائية يقرنها المرسل مع الليف. وقد تم تعيين مدى لهذه القدرة بغية التقليل من التكاليف إلى أبعد حد ممكن وتغطية المتطلبات المتعلقة بتشغيل الظروف العادية وبانخطاطات موصلات المرسل وقيم التفاوت المسموح بها لقياس تأثير التقادم. وتتيح هذه القيم حساب القيم المتعلقة بالحساسية ونقطة الحمولة الزائدة بالنسبة للمستقبل في النقطة المرجعية MPI-R.

وفي حال حدوث أعطال في تجهيزات المرسل، يستحسن الحد من القدرة المحقونة ومن المدة القصوى لتعرض الموظفين وذلك لأسباب صحية تتصل بتأثير الألياف البصرية والليزر على الصحة.

3.2.6 نسبة الخمود

تتحدد القيمة الدنيا المقبولة لنسبة الخمود (EX) بالصيغة التالية:

$$EX = 10 \times \log_{10}(A/B)$$

حيث A هو متوسط سوية القدرة البصرية في مركز العنصر "1" المنطقي وB متوسط سوية القدرة البصرية في مركز العنصر "0" المنطقي. ويعتمد للسويتين المنطقيتين البصريتين الاصطلاح التالي:

- إرسال ضوء لتمثيل قيمة "1" منطقي؛
- عدم إرسال ضوء لتمثيل قيمة "0" منطقي.

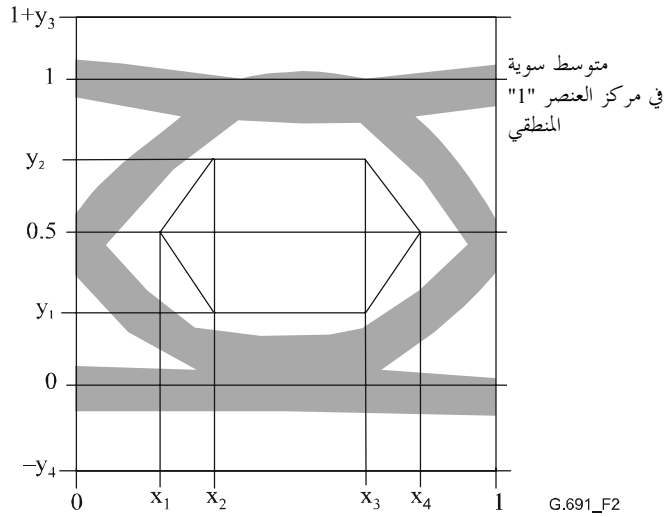
4.2.6 مخطط على شكل العين

تقدم هذه التوصية الخصائص العامة لشكل النبضة في المرسل (بما فيه أوقات الصعود والهبوط والتذبذب المفرط للنبضات ونقص تذبذبها والذبذبة المؤقتة التي يستحسن السيطرة عليها جميعاً منعاً للانحطاطات الزائدة في حساسية المستقبل) في مخطط على شكل العين يمثل المرسل في النقطة MPI-S. ومن المهم، لأغراض تقييم الإشارة المرسلة، مراعاة ليس فتحة العين وحسب بل حدود التذبذب المفرط والتذبذب الناقص أيضاً. ويوضح الشكل 2 المعلمات التي تحدد المخطط على شكل العين للمرسل. ويراعي الملحق A جوانب أخرى تعاريف هذا المخطط.

وفيما يخص الأنظمة التي تستخدم تقنيات تكييف التشتت القائمة على تشوه الإشارة المسبق، فإن المخطط المذكور بصيغته المذكورة أعلاه لا يتحدد إلا من خلال النقاط التي تمثل إشارات غير مشوهة. غير أن هذه النقاط لا تتلاقى مع السطوح البينية للمسير الرئيسي ولذا قد يتعذر حتى الوصول إليها. ويتطلب هذا التعريف مزيداً من الدراسة.

وفيما يخص الأنظمة التي تستخدم التأثيرات غير الخطية لتكييف التشتت (L-64.2b وV-64.2b حالياً)، فإن المخطط على شكل العين قد يكون مختلفاً عن مخطط الأنظمة الخطية.

علاوة على ذلك وفيما يخص الأنظمة الخاضعة لتشكيل ذاتي الطور (SPM) الناجم عن قيم خرج قدرة مرتفعة، فإن مواصفة وقت الصعود الأدنى بغية تجنب عطل التشكيل SPM تصبح ضرورية. وينبغي أن يكون وقت الصعود الأدنى (من 10% إلى 90% من قيمة النبضة الواحدة) بمقدار 30 ps في الأنظمة التي تتراوح سويات قدرة المرسل فيها بين +12 dBm و+15 dBm. أما بالنسبة إلى سويات القدرة الأكثر انخفاضاً والمتراوحة بين +10 dB و+13 dB فإنه ينبغي إجراء مزيد من الدراسات لهذه القيمة وكذلك لتشكيل الإشارة.



	STM-4	STM-16	STM-64 (a,c) (الملاحظتان 2 و3)	STM-64 (b) (الملاحظتان 2 و4)
x_1/x_4	0,25/0,75	–	لمزيد من الدراسة	–
x_2/x_3	0,40/0,60	–	لمزيد من الدراسة	–
$x_3–x_2$	–	0,2	لمزيد من الدراسة	0,2
y_1/y_2	0,20/0,80	0,25/0,75	لمزيد من الدراسة	Δ+0,25/Δ+0,75 with Δ variable –0,25<Δ<+0,25
y_3/y_4	0,20/0,20	0,25/0,25	لمزيد من الدراسة	0,25/0,25

الملاحظة 1 – في حالة النظامين STM-16 وSTM-64 من غير الضروري أن تقع x_2 وx_3 في المخطط على مسافة متساوية من المحورين الرأسيين عند UI 0 وUI 1. ويتطلب اتساع هذا الانحراف مزيداً من الدراسة. ومع مراعاة الترددات المستعملة في النظامين STM-16 وSTM-64 وكذلك الصعوبات التي تعترض تصنيع هذا المرشاح (راجع الملحق A)، قد يكون من الضروري مراجعة قيم المعلمات مراجعة بسيطة فيما يتعلق بالوحدتين STM-16 وSTM-64 على ضوء التجربة.

الملاحظة 2 – تحيل الرموز a وb وc إلى تقنيات تكييف التشتت المستخدمة في التطبيقات المبينة في الجدولين 5c و5d.

الملاحظة 3 – يضم L-64.2a وL-64.2c وV-64.2a.

الملاحظة 4 – يضم L-64.2b وL-64.3 وV-64.2b وV-64.3.

الشكل G.691/2 – مخطط على شكل العين للإشارة البصرية المرسلة

3.6 المسير البصري

من أجل ضمان جودة أداء النظام في كلٍّ من التطبيقات المذكورة في الجدول 1، من الضروري تحديد خصائص التوهين والتشتت على المسير البصري بين النقطتين MPI-S وMPI-R.

1.3.6 التوهين

يتحدد التوهين لكل تطبيق في هذه التوصية على شكل مدى من القيم يمثل الحدود الكبرى للتطبيق المشار إليه في الجدول 1. ويفترض أن تقابل مواصفات التوهين قيم الحالة الأسوأ التي تضم الخسارة الناجمة عن الجدالات أو الموصلات أو التوهينات البصرية (حسب الاقتضاء) أو عند أجهزة بصرية منفعلة أخرى وكذلك عن أي هامش إضافي على الكبلات من أجل استيفاء الشروط:

1) تعديلات لاحقة على تشكيلة الكبلات (جدالات إضافية، زيادة طول الكبلات وغيرها)؛

2) تغييرات في أداء كبلات الألياف نتيجة لعوامل بيئية؛

3) انحطاطات في كل موصل أو موهِّن بصري أو أي جهاز بصري منفعل يقع بين النقطتين MPI-S وMPI-R حسب الاقتضاء.

2.3.6 التشتت

1.2.3.6 الحد الأقصى للتشتت اللوني

جميع الأنظمة المذكورة في هذه التوصية حساسة للتشتت. وهناك عدد منها يعمل فوق الحد "التقليدي" للتشتت اللوني بواسطة بعض طرائق التعويض المسماة "تقنيات تكييف التشتت" (راجع الفقرة 3.8). وتحدد هذه المعلمة القيمة القصوى غير المعوَّضة للتشتت اللوني في المسير الرئيسي والتي ينبغي على النظام أن يسمح بها.

يتحدد التفاوت المسموح به للتشتت الأقصى المطلوب في الأنظمة بقيمة تساوي المسافة المستهدفة ضرب 20 nm × ps/km بالنسبة إلى الألياف G.652 وضرب 3,3 km × ps/nm بالنسبة إلى الألياف G.653 في منطقة الموجات 1550 nm وكذلك بالنسبة إلى الألياف G.652 في منطقة الموجات 1310 nm. وهي قيمة تشتت تقابل الحالة الأسوأ بالنسبة إلى أنواع الليف ذات الصلة. وتهدف دراسة الحالة الأسوأ المتعلقة بهذه المعلمة إلى توفير بعض الهوامش بخصوص معلمة حساسة وجعل تمديد مسافات الإرسال ممكنة في تمديدات الألياف ذات التوهين المنخفض.

وتراعي المخالفة المقبولة على المسير البصري جميع التأثيرات الحتمية الناجمة عن التشتت اللوني وكذلك المخالفة الناتجة عن متوسط التشتت بأسلوب الاستقطاب (PMD). غير أن التغيّرات الإحصائية للتشتت PMD من الرتبتين الأولى والثانية، لا تندرج في هذه المخالفة على المسير (راجع الفقرة 3.4.6 من التذييل I).

2.2.3.6 الحد الأدنى للتشتت اللوني

تستطيع الأنظمة التي تستعمل شكلاً ما من أشكال التعويض عن التشتت بأدوات منفعلة أو فاعلة أن تتطلب وجود بعض التشتت الأدنى في المسير.

القيمة الدنيا للتشتت اللوني هي قيمة التشتت الأكثر انخفاضاً والتي يتعين على النظام معها أن يعمل. وهذا لا ينفي وجود أنظمة قادرة على العمل بتشتت أقل أو بتشتت معدوم. ونظراً إلى أن الطول الدقيق لموجة التشغيل غير معروف، فالقيمة تتحدد بأنها أدنى قيمة للألياف G.652 في منطقة طول موجة تشغيل النظام.

3.2.3.6 الحد الأقصى لزمن الانتشار التفاضلي لمجموعة الترددات

زمن الانتشار التفاضلي لمجموعة الترددات (DGD) هو الفرق الزمني بين جزيئي النبضة المرسلين في الحالتين الرئيسيتين لاستقطاب إشارة بصرية. وبالنسبة إلى المسافات التي تزيد عن عدة كيلومترات، ومع القبول بالاقتران (القوي) لأسلوب الاستقطاب العشوائي، فإن زمن الانتشار DGD في ليف ما يمكن قولبته إحصائياً نظراً إلى أنه خاضع لتوزيع ماكسويل.

ويتحدد الحد الأقصى للزمن DGD في هذه التوصية بأنه قيمة الزمن DGD التي ينبغي على النظام أن يسمح بها في حال انحطاط حساسية أقصى قدره 1 dB.

ونتيجة للطبيعة الإحصائية للتشتت PMD فإن العلاقة بين الحد الأقصى لزمن الانتشار DGD ومتوسطه لا يمكن تحديدها إلا على سبيل الترجيح. ويمكن أن يستنتج من الإحصاءات الماكسويلية ترجيح تجاوز الوقت DGD الآني لقيمة معينة. وبالتالي عند معرفة الزمن DGD الأقصى الذي يسمح به النظام، يمكن استنتاج متوسط الزمن DGD المكافئ بتقسيمه على نسبة القيمة القصوى إلى المتوسطة التي تكافئ قيمة ترجيحية مقبولة. ويقدم الجدول 2 أدناه عدداً من الأمثلة لهذه النسب.

الجدول G.691/2 – القيم الترجيحية والقيم المتوسطة النسبية للوقت DGD

نسبة القيمة القصوى إلى القيمة المتوسطة	احتمال تجاوز القيمة القصوى
3,0	$4,2 \times 10^{-5}$
3,5	$7,7 \times 10^{-7}$
4,0	$7,4 \times 10^{-9}$

3.3.6 تعويض التشتت

هو التشتت العادي في الأنظمة STM-64 العاملة في ليف G.652 قدره 60 km تقريباً عن استعمال طيف مصدر مثالي (بمتحولة محدودة). وتعمل عدة أنظمة مذكورة في هذه التوصية فوق هذا الحد باستعمال بعض التقنيات المسماة "تقنيات تكييف التشتت (DA)". وتقنية تكييف التشتت هي طريقة لجعل بعض أنماط الليف قادرة على التحمل لمسافات أطول من المسافات التي يمكن الحصول عليها باستعمال الإشارة المثلى بتشكيل الكثافة. ولا تستعمل هذه الطرائق إلا في الأنظمة STM-64. ويرد وصف مفصل للتقنيات DA في الفقرة 3.8 وفي التذييلات التعليمية من III إلى V.

4.3.6 الانعكاسات

تنتج الانعكاسات عند تقطعات دليل الانكسار في المسير البصري. وإن لم تتم السيطرة عليها فإنها تسبب انحطاطاً في أداء الأنظمة بتأثيرها السلبي على أداء المصدر البصري أو المكبر وكذلك بانعكاساتها المتعددة التي تحدث ضوضاء تداخل في المستقبل. وفي هذه التوصية يتم التحكم في الانعكاسات الصادرة عن المسير البصري بتحديد:

- الخسارة البصرية في العودة (ORL) الدنيا في تمديدات الكبل في النقطة MPI-S بما في ذلك الموصلات إن وجدت؛
- عامل الانعكاس المنفصل الأقصى بين النقطتين MPI-S وMPI-R.

ويدل عامل الانعكاس على الانعكاس في كل نقطة انعكاس منفصلة بينما تدل الخسارة في العودة على القدرة الإجمالية التي يرسلها الليف بكامله، بما في ذلك الانعكاسات المنفصلة والانتثار الخلفي الموزع وكذلك انتثار رايلي (Rayleigh).

ويرد وصف بعض طرائق قياس الانعكاسات في التذييل G.957/I. ولاحتياجات قياسات عامل الانعكاس والخسارة في العودة يقبل ضمنياً أن تتلاقى النقطتان MPI-S وMPI-R مع الوجه الطرفي لكل موصل. ويفترض أن لا يتضمن ذلك الأداء الحقيقي من حيث انعكاس الموصلات المقابلة في النظام التشغيلي. ويفترض أن تتخذ هذه الانعكاسات القيمة الاسمية للانعكاس بالنسبة إلى النمط الخاص بالموصلات المستعملة.

ويمكن الحصول على الخسارة الإجمالية البصرية المحددة في العودة عن طريق أكبر عدد للموصلات أو لنقاط الانعكاس المنفصل التي قد توجد في المسير البصري (لأغراض لوحات التوصيل أو مكونات تعدد الإرسال بتقسيم طول الموجة مثلاً). وإن تعذر الحصول على ذلك باستخدام الموصلات المناسبة للانعكاسات المنفصلة القصوى المبينة في الجداول من 3 إلى 5 فيجب استعمال موصلات بأداء أفضل من حيث الانعكاس. وكبديل لذلك قد يتوجب تخفيض عدد الموصلات. وقد يكون من

الضروري أيضاً الحد من عدد الموصلات أو استعمال موصلات بأداء محسَّن من حيث عامل الانعكاس بغية تجنب الانعكاسات غير المقبولة التي تحدثها الانعكاسات المتعددة.

وفي الجداول من 3 إلى 5، تهدف قيمة عامل الانعكاس المنفصل الأقصى البالغة –27 dB بين النقطتين MPI-S وMPI-R، إلى تقليص تأثيرات الانعكاسات المتعددة إلى أبعد حد ممكن (ضوضاء مقياس التداخل مثلاً). وتم اختيار القيمة القصوى لعامل الانعكاس في المستقبل لضمان المخالفات المقبولة الناجمة عن الانعكاسات المتعددة في جميع تشكيلات الأنظمة المشابهة التي تضم عدة موصلات وإلى غير ذلك. أما الأنظمة التي تستخدم عدداً أقل من الموصلات أو موصلات بأداء أفضل فإنها تحدث الأقل من الانعكاسات المتعددة وبالتالي فإنها تسمح باستعمال مستقبلات بعامل انعكاس أعلى.

4.6 المستقبل

1.4.6 الحساسية

تتحدد حساسية المستقبل بأنها أصغر قيمة لمتوسط القدرة المستقبلة في النقطة MPI-R من أجل الحصول على نسبة خطأ في البتات (BER) قدرها 1×10^{-12}. ويجب بلوغ هذه القيمة بعد استعمال مرسل مع قيم الحالة الأسوأ المبينة في مخطط المرسل على شكل العين، فيما يتعلق بنسبة الخمود والخسارة البصرية في العودة في النقطة MPI-S وانحطاطات موصلات المستقبل وبقيم التفاوت المسموح بها للقياس. ويرد في الملحق A عرض مفصل لتعريف حساسية المستقبل في شروط الحالة الأسوأ.

ولا يتوجب بلوغ حساسية المستقبل في وجود التشتت أو الانعكاسات الناجمة عن المسير البصري. وتتحدد هذه التأثيرات كل منها على حدة في توزيع قيمة الجزاء القصوى للمسير البصري. أما تأثيرات التقادم فلا تتحدد كل منها على حدة لأن التفاوض بشأنها يتم عادة بين مزوّد الشبكة ومصنع المعدات.

ملاحظة – لا يتوجب بلوغ حساسية المستقبل في حال تجاوز ارتعاش المرسل لحدود ارتعاش التوليد المناسبة (مثال: الحد الوارد في التوصية ITU-T G.783 فيما يتعلق بالإشارات البصرية الرافدة بالتراتب الرقمي المتزامن).

ويستحسن أن تتراوح الهوامش النموذجية بين مستقبل بحرارة اسمية في بداية عمر التشغيل وعكسه المقابل للحالة الأسوأ في نهاية عمر التشغيل بين 2 dB و4 dB. وحساسيات المستقبل المحددة في الجداول من 3 إلى 5 هي قيم نهاية عمر التشغيل المقابلة للحالة الأسوأ.

2.4.6 الحمولة الزائدة

الحمولة الزائدة في المستقبل هي أقصى قيمة مقبولة لمتوسط القدرة المستقبلة في النقطة MPI-R من أجل الحصول على نسبة BER تساوي 1×10^{-12}.

3.4.6 الجزاء في المسير

الجزاء في المسير هو النقصان الظاهر لحساسية المستقبل الذي يسببه تشوه في شكل موجة الإشارات خلال إرسالها على طول المسير. وتظهر على شكل زحزحة منحنيات نسبة الأخطاء في البتات (BER) للنظام باتجاه سويات أعلى لقدرة الدخل. وهو جزاء موجب للمسير. وهناك جزاء سالب للمسير في بعض الحالات ويستحسن أن يكون منخفضاً. (يعني جزاء المسير السالب أن عين المرسل غير الكاملة تماماً تحسنت جزئياً من التشوهات المتعلقة بالمسير). ويستحسن نظرياً أن تكون منحنيات النسبة BER منقولة فقط ولكن تغيرات الشكل تحصل أحياناً وتدل على توسع سطوح النسبة BER. ونظراً إلى أن جزاء المسير هو تغير في حساسية المستقبل، فإن قياس قيمته يتم مع مستوى نسبة BER يبلغ 10^{-12}.

ويسمح بجزاء مسير قدره 1 dB كحد أقصى في أنظمة التشوه المنخفض و2 dB في أنظمة التشوه المرتفع. ولا يتمثل جزاء المسير نسبياً مع المسافات المستهدفة بغية تجنب تشغيل أنظمة مع جزاء مرتفع.

فيما يخص الأنظمة التي تستعمل تقنيات تكييف تشوه قائمة على تشوه الإشارة المسبق، فإن جزاء المسير كما جاء تعريفه أعلاه لا يتحدد إلا بين نقطتين تمثلان إشارات غير مشوهة. غير أن هذه النقاط لا تتلاقى مع السطوح الرئيسية في المسير الرئيسي وبالتالي فقد يتعذر النفاذ إليها. وفي هذه الحالة يتطلب تعريف جزاء المسير مزيداً من الدراسة.

تندرج القيمة المتوسطة لجزاء التشتت العشوائي الناجمة عن التشتت بأسلوب الاستقطاب ضمن جزاء المسير المسموح. ولذا يطلب أن تسمح تجميعة المرسل- المستقبل بتفاوت في زمن الانتشار التفاضلي الفعلي لمجموعة الترددات لفترة 0,3 بتة مع انحطاط أقصى في الحساسية قدره 1 dB (مع 50% من القدرة البصرية في كل حالة من حالات الاستقطاب الرئيسية). مما يقابل بالنسبة إلى مستقبل جيد التصميم، جزاء تتراوح قيمته بين 0,1 dB و0,2 dB في زمن انتشار تفاضلي لفترة 0,1 بتة. وزمن الانتشار التفاضلي الفعلي الذي قد يواجه في تطبيق ما هو خاصية لليف/ الكبل تتغير عشوائياً ولا يمكن تحديدها في هذه التوصية. ويعرض التذييل I هذا الموضوع بمزيد من التفاصيل.

وتجدر الإشارة إلى أن انخفاض نسبة الإشارة إلى الضوضاء الناجم عن تكبير بصري لا يعتبر جزاء مسير.

4.4.6 عامل الانعكاس

تتحدد الانعكاسات الصادرة عن المستقبل والعائدة إلى تمديدات الكبلات بعامل الانعكاس المقبول الأقصى للمستقبل والمقيس في النقطة المرجعية MPI-R.

7 قيم المعلمات البصرية

تبين الجداول من 3 إلى 5 قيم المعلمات البصرية للتطبيقات الواردة في الجدول 1. وتعطى التعاريف في الفقرة 6. ويرد وصف عدة طرائق قياس في الملحقات والتذييلات. ولا تستبعد هذه الجداول استعمال أنظمة تستوفي شروط عدد من التطبيقات المذكورة.

ويمكن مبدئياً تنظيم التجهيزات المطرافية بطرق مختلفة من أجل استيفاء شروط المسير الرئيسي. ويوجد أيضاً خيارات مختلفة لزيادة مرونة شفرة التطبيق الأساسية ويشار إليها بالملاحظات.

ويمكن استخدام أمدية سويات قدرة أكثر ارتفاعاً أو أكثر انخفاضاً بغية استيفاء شروط خاصة مثل التدرجية أو احتواء الخسارات الكبيرة أو مجابهة اللاخطية البصرية. و لم تحدد سويات القدرة هذه حتى الآن في هذه التوصية.

ويتم الحصول حالياً على قيم المعلمات البصرية في هذه التوصية دون تطبيق تقنية التصحيح FEC في النطاق وفقاً للتوصية ITU-T G.707/Y.1322.

الجدول G.691/3 – معلمات خاصة بالسطوح البينية البصرية للوحدات STM-4

رمز التطبيق (الجدول 1)	الوحدة	V-4.1	V-4.2	V-4.3	U-4.2	U-4.3
		(الملاحظة 1)	(الملاحظة 2)	(الملاحظة 2)	(الملاحظة 3)	(الملاحظة 3)
مرسل في النقطة المرجعية MPI-S						
مدى أطوال موجة التشغيل	nm	1330-1290	1565-1530	1565-1530	1565-1530	1565-1530
متوسط القدرة المحقونة						
– أقصى قدرة	dBm	4	4	4	15	15
– أدنى قدرة	dBm	0	0	0	12	12
الخصائص الطيفية						
– أقصى عرض عند –20 dB	nm	ffs	ffs	ffs	ffs	ffs
– معلمة التشكيل، α	rad	NA	NA	NA	NA	NA
– أقصى كثافة للقدرة الطيفية	mW/10 MHz	ffs	ffs	ffs	ffs	ffs
– أدنى نسبة SMSR	dB	ffs	ffs	ffs	ffs	ffs
أدنى نسبة خمود (EX)	dB	10	10	10	10	10
المسير البصري الرئيسي من MPI-S إلى MPI-R						
مدى التوهين						
– أقصى توهين	dB	33	33	33	44	44
– أدنى توهين	dB	22	22	22	33	33
التشتت اللوني						
– أقصى تشتت	ps/nm	200	2400	400	3200	530
– أدنى تشتت	ps/nm	NA	NA	NA	NA	NA
أقصى زمن انتشار DGD	ps	480	480	480	480	480
أدنى خسارة ORL في تمديدات الكبلات في النقطة MPI-S بما في ذلك جميع الموصلات الممكنة	dB	24	24	24	24	24
أكبر عامل انعكاس منفصل بين النقطتين MPI-S وMPI-R	dB	27–	27–	27–	27–	27–
المستقبل في النقطة المرجعية MPI-R						
أدنى حساسية (النسبة $BER = 1 \times 10^{-12}$)	dBm	34–	34–	34–	34–	33–
أدنى حمولة زائدة	dBm	18–	18–	18–	18–	18–
أقصى جزاء في المسير البصري	dB	1	1	1	2	1
أقصى عامل انعكاس في المستقبل، مقيساً في النقطة MPI-R	dB	27–	27–	27–	27–	27–

الملاحظة 1 – لا يتم الحصول على المسافة المستهدفة إلا بتوهين يساوي أو يقل عن 0,55 dB/km في الألياف الممددة بما فيها الجدالات وهوامش الكبلات.

الملاحظة 2 – يقدم المرسل والمستقبل G.957 مع مكبر عالي القدرة وفق الافتراضات الواردة في الفقرة 4.8، أداء نظام مشابهاً.

الملاحظة 3 – يمكن استخدام المكبر البصري الأولي الخاص مثلاً بالنظامين U-16.x أو V-64.x، للاستعاضة عن مكبر بصري عالي القدرة. وقد يقدم هذا النظام مدى توهين أكثر انخفاضاً نوعاً ما.

ffs: يتطلب مزيداً من الدراسة؛ NA: لا يطبق.

الجدول G.691/4 – معلمات خاصة بالسطوح البينية البصرية للوحدات STM-16

رمز التطبيق (الجدول 1)	الوحدة	V-16.2	V-16.3	U-16.2	U-16.3
		(الملاحظتان 1 و2)	(الملاحظتان 1 و2)		
مرسل في النقطة المرجعية MPI-S					
مدى أطوال موجة التشغيل	nm	1565-1530	1565-1530		
متوسط القدرة المحقونة					
– أقصى قدرة	dBm	13	13		
– أدنى قدرة	dBm	10	10		
الخصائص الطيفية					
– أقصى عرض عند –20 dB	nm	ffs	ffs		
– معلمة التشكيل، α	rad	ffs	ffs		
– أقصى كثافة للقدرة الطيفية	mW/10 MHz	ffs	ffs		
– أدنى نسبة SMSR	dB	ffs	ffs		
أدنى نسبة خمود (EX)	dB	8,2	8,2	معلمات واردة في P1U1-1A2 كشفرة G.959.1	معلمات واردة في P1U1-1A3 كشفرة G.959.1
المسير البصري الرئيسي من MPI-S إلى MPI-R					
مدى التوهين					
– أقصى توهين	dB	33	33		
– أدنى توهين	dB	22	22		
التشتت اللوني					
– أقصى تشتت	ps/nm	2400	400		
– أدنى تشتت	ps/nm	NA	NA		
أقصى زمن انتشار DGD	ps	120	120		
أدنى خسارة ORL في تمديدات الكبلات في النقطة MPI-S بما في ذلك جميع الموصلات الممكنة	dB	24	24		
أكبر عامل انعكاس منفصل بين النقطتين MPI-S وMPI-R	dB	27–	27–		
المستقبل في النقطة المرجعية MPI-R					
أدنى حساسية (النسبة $BER = 1 \times 10^{-12}$)	dBm	25–	24–		
أدنى حمولة زائدة	dBm	9–	9–		
أقصى جزاء في المسير البصري	dB	2	1		
أقصى عامل انعكاس في المستقبل، مقيساً في النقطة MPI-R	dB	27–	27–		

الملاحظة 1 – يمكن استخدام المكبر البصري الأولي الخاص مثلاً بالنظامين U-16.x أو V-64.x، للاستعاضة عن مكبر بصري عالي القدرة. وقد يقدم هذا النظام مدى توهين أكثر انخفاضاً نوعاً ما.

الملاحظة 2 – يقدم المرسل والمستقبل G.957 مع مكبر عالي القدرة وفق الافتراضات الواردة في الفقرة 4.8، أداء نظام مشابهاً.

ffs: يتطلب مزيداً من الدراسة؛ NA: لا يطبق.

الجدول G.691/5a – معلمات خاصة بالسطوح البينية البصرية للوحدات STM-64

رمز التطبيق (الجدول 1)	الوحدة	I-64.1r	I-64.1	I-64.2r	I-64.2	I-64.3	I-64.5
مرسل في النقطة المرجعية MPI-S							
نمط المصدر							
مدى أطوال موجة التشغيل	nm						
متوسط القدرة المحقونة							
– أقصى قدرة	dBm						
– أدنى قدرة	dBm						
الخصائص الطيفية							
– أقصى جذر RMS للعرض (σ)	nm						
– أقصى عرض عند –20 dB	nm						
– معلمة التشكيل، α	rad						
– أقصى كثافة للقدرة الطيفية	mW/10 MHz	المعلمات الواردة في التوصية G.959.1 حسب الرمز VSR600-2L2	المعلمات الواردة في التوصية G.959.1 حسب الرمز VSR2000-2R1	المعلمات الواردة في التوصية G.959.1 حسب الرمز VSR2000-2L2	المعلمات الواردة في التوصية G.959.1 حسب الرمز P1I1-2D2	المعلمات الواردة في التوصية G.959.1 حسب الرمز P1I1-2D3	المعلمات الواردة في التوصية G.959.1 حسب الرمز P1I1-2D5
– أدنى نسبة SMSR	dB						
أدنى نسبة خمود (EX)	dB						
المسير البصري الرئيسي من MPI-S إلى MPI-R							
مدى التوهين							
– أقصى توهين	dB						
– أدنى توهين	dB						
التشتت اللوني							
– أقصى تشتت	ps/nm						
– أدنى تشتت	ps/nm						
تعويض منفعل للتشتت							
– أقصى تعويض	ps/nm						
– أدنى تعويض	ps/nm						
أقصى زمن انتشار DGD	ps						
أدنى خسارة ORL في تمديدات الكبلات في النقطة MPI-S بما في ذلك الموصلات الممكنة	dB						
أكبر عامل انعكاس منفصل بين النقطتين MPI-S وMPI-R	dB						
المستقبل في النقطة المرجعية MPI-R							
أدنى حساسية (النسبة $BER = 1 \times 10^{-12}$)	dBm						
أدنى حمولة زائدة	dBm						
أقصى جزاء في المسير البصري	dB						
أقصى عامل انعكاس في المستقبل، مقيساً في النقطة MPI-R	dB						

ملاحظة – جميع تطبيقات هذه التوصية تستعمل الليزر بالأسلوب وحيد الطول (SLM) كمصدر، باستثناء التطبيق I-64.1r الذي يستعمل الليزر بالأسلوب متعدد الأطوال (MLM).

الجدول G.691/5b – المعلمات الخاصة بالسطوح البينية البصرية في الوحدات STM-64

رمز التطبيق (الجدول 1)	الوحدة	S-64.1	S-64.2a	S-64.2b	S-64.3a	S-64.3b	S-64.5a	S-64.5b
مرسل في النقطة المرجعية MPI-S								
مدى أطوال موجة التشغيل	nm							
متوسط القدرة المحقونة								
– أقصى قدرة	dBm							
– أدنى قدرة	dBm							
الخصائص الطيفية								
– أقصى عرض عند –20 dB	nm							
– معلمة التشكيل، α	rad							
– أقصى كثافة للقدرة الطيفية	mW/10 MHz							
– أدنى نسبة SMSR	dB							
أدنى نسبة (EX)	dB	المعلمات الواردة في التوصية G.959.1 حسب الرمز P1S1-2D1	المعلمات الواردة في التوصية G.959.1 حسب الرمز P1S1-2D2a	المعلمات الواردة في التوصية G.959.1 حسب الرمز P1S1-2D2b	المعلمات الواردة في التوصية G.959.1 حسب الرمز P1S1-2D3a	المعلمات الواردة في التوصية G.959.1 حسب الرمز P1S1-2D3b	المعلمات الواردة في التوصية G.959.1 حسب الرمز P1S1-2D5a	المعلمات الواردة في التوصية G.959.1 حسب الرمز P1S1-2D5b
المسير البصري الرئيسي من MPI-S إلى MPI-R								
مدى التوهين								
– أقصى توهين	dB							
– أدنى توهين	dB							
التشتت اللوني								
– أقصى تشتت لوني	ps/nm							
– أدنى تشتت لوني	ps/nm							
التعويض المنفعل للتشتت								
– الأقصى	ps/nm							
– الأدنى	ps/nm							
أقصى زمن انتشار DGD	ps							
أدنى نسبة ORL في تمديدات الكبل في النقطة MPI-S بما في ذلك كل الموصلات الممكنة	dB							
أقصى عامل انعكاس منفصل بين النقطتين MPI-S وMPI-R	dB							
المستقبل في النقطة المرجعية MPI-R								
أدنى حساسية (النسبة $BER = 1 \times 10^{-12}$)	dBm							
أدنى حمولة زائدة	dBm							
أقصى جزاء على المسير البصري	dB							
أقصى عامل انعكاس للمستقبل، مقيساً في النقطة MPI-R	dB							

ملاحظة – تتناسب سويات قدرة المرسل في S-64.2a وa3 وa5 مع مستقبلات الثنائي APD؛ وتتناسب سويات قدرة المرسل في S-64.2b وb3 وb5 مع مستقبلات النمط PIN.

الجدول G.691/5c – المعلمات الخاصة بالسطوح البينية البصرية في الوحدات STM-64

رمز التطبيق (الجدول 1)	الوحدة	L-64.1	L-64.2a	L-64.2b	L-64.2c	L-64.3
			(الملاحظتان1 و2)	(الملاحظة 1)	(الملاحظة 1)	
مرسل في النقطة المرجعية MPI-S						
مدى أطوال موجة التشغيل	nm		1565-1530	1565-1530	1565-1530	1565-1530
متوسط القدرة المحقونة						
– أقصى قدرة	dBm		2+	13	2+	13
– أدنى قدرة	dBm		2–	10	2–	10
الخصائص الطيفية						
– أقصى عرض عند –20 dB	nm		ffs	ffs	ffs	ffs
– معلمة التشكيل، α	rad		ffs	ffs	ffs	ffs
– أقصى كثافة للقدرة الطيفية	mW/10 MHz		ffs	ffs	ffs	ffs
– أدنى نسبة SMSR	dB		ffs	ffs	ffs	ffs
أدنى نسبة (EX)	dB	المعلمات الواردة في التوصية G.959.1 حسب الرمز P1L1-2D1	10	8,2	10	8,2
المسير البصري الرئيسي من MPI-S إلى MPI-R						
مدى التوهين						
– أقصى توهين	dB		22	22	22	22
– أدنى توهين	dB		11	16	11	16
التشتت اللوني						
– أقصى تشتت لوني	ps/nm		1600	1600	1600	260
– أدنى تشتت لوني	ps/nm		ffs	ffs	ffs	NA
التعويض المنفعل للتشتت						
– الأقصى	ps/nm		ffs	NA	NA	NA
– الأدنى	ps/nm		ffs	NA	NA	NA
أقصى زمن انتشار DGD	ps		30	30	30	30
أدنى نسبة ORL في تمديدات الكبل في النقطة MPI-S بما في ذلك كل الوصلات الممكنة	dB		24	24	24	24
أقصى عامل انعكاس منفصل بين النقطتين MPI-S وMPI-R	dB		–27	–27	–27	–27
المستقبل في النقطة المرجعية MPI-R						
أدنى حساسية (النسبة $BER = 1 \times 10^{-12}$)	dBm		–26	–14	–26	–13
أدنى حمولة زائدة	dBm		–9	–3	–9	–3
أقصى جزاء على المسير البصري	dB		2	2	2	1
أقصى عامل انعكاس للمستقبل، مقيساً في النقطة MPI-R	dB		–27	–27	–27	–27

الملاحظة 1 – يستعمل النظام L-64-2.a التعويض PDC مثل التكييف DA ويستعمل L-64.2b التشكيل الذاتي SPM مثل التكييف DA ويستعمل L-64.2c تشكيل أولي مثل التكييف DA.

الملاحظة 2 – راجع الفقرة 2.3.8 المتعلقة بالقيم وبموقع المعوّض المنفعل للتشتت (PDC).

ffs: يتطلب مزيداً من الدراسة؛ NA: لا يطبق.

الجدول G.691/5d – المعلمات الخاصة بالسطوح البينية البصرية في الوحدات STM-64

رمز التطبيق (الجدول 1)	الوحدة	V-64.2a	V-64.2b	V-64.3
		(الملاحظتان 1 و2)	(الملاحظة 2)	
مرسل في النقطة المرجعية MPI-S				
مدى أطوال موجة التشغيل	nm	1565-1530	1565-1530	1565-1530
متوسط القدرة المحقونة				
– أقصى قدرة	dBm	13	15	13
– أدنى قدرة	dBm	10	12	10
الخصائص الطيفية				
– أقصى عرض عند –20 dB	nm	ffs	ffs	ffs
– معلمة التشكيل، α	rad	ffs	ffs	ffs
– أقصى كثافة للقدرة الطيفية	mW/10 MHz	ffs	ffs	ffs
– أدنى نسبة SMSR	dB	ffs	ffs	ffs
أدنى نسبة (EX)	dB	10	8,2	8,2
المسير البصري الرئيسي من MPI-S إلى MPI-R				
مدى التوهين				
– أقصى توهين	dB	33	33	33
– أدنى توهين	dB	22	22	22
التشتت اللوني				
– أقصى تشتت لوني	ps/nm	2400	2400	400
– أدنى تشتت لوني	ps/nm	ffs	ffs	NA
التعويض المنفعل للتشتت				
– الأقصى	ps/nm	ffs	ffs	NA
– الأدنى	ps/nm	ffs	ffs	NA
أقصى زمن انتشار DGD	ps	30	30	30
أدنى نسبة ORL في تمديدات الكبل في النقطة MPI-S بما في ذلك كل الموصلات الممكنة	dB	24	24	24
أقصى عامل انعكاس منفصل بين النقطتين MPI-S وMPI-R	dB	–27	–27	–27
المستقبل في النقطة المرجعية MPI-R				
أدنى حساسية (النسبة $BER = 1 \times 10^{-12}$)	dBm	–25	–23	–24
أدنى حمولة زائدة	dBm	–9	–7	–9
أقصى جزاء على المسير البصري	dBm	2	2	1
أقصى عامل انعكاس للمستقبل، مقيساً في النقطة MPI-R	dB	–27	–27	–27

الملاحظة 1 – راجع الفقرة 2.3.8 المتعلقة بالقيم وبموقع المعوّض المنفعل للتشتت (PDC).

الملاحظة 2 – يستعمل النظام V-64.2a تعويضاً PDC مثل التكييف DA ويستعمل B-64.2b مجموعة تشكيل ذاتي SPM وتعويض PDC مثل التكييف DA.

ffs: يتطلب مزيداً من الدراسة؛ NA: لا يطبق.

8 طريقة التقنية البصرية

1.8 فرضيات التصميم

تعرض هذه الفقرة الجوانب المتعلقة بالتصميم الواردة في هذه التوصية والخاصة بالمكبرات البصرية وتكييف التشتت على سبيل المثال. وتضم التوصية ITU-T G.957 عرضاً عاماً لطريقتي الحالة الأسوأ والتصميم القائم على أساس الإحصاءات.

2.8 التأثيرات اللاخطية

نجم عن إدخال المكبرات البصرية إمكانية استعمال قدرات بصرية مرتفعة إلى حد ظهرت معه تأثيرات لا خطية هامة. وتقدم التوصية ITU-T G.663 عرضاً مفصلاً لهذه الحالات اللاخطية.

3.8 تكييف التشتت

إن حد التشتت العادي في الأنظمة STM-64 العاملة في الألياف G.652 يبلغ 60 km تقريباً عند استعمال طيف مصدر مثالي (بمتحولة محدودة)، ويعمل العديد من الأنظمة المذكورة في هذه التوصية فوق هذا الحد باستخدام بعض التقنيات المسماة تقنيات تكييف التشتت (DA). والتقنية DA هي كل طريقة تستعمل من أجل تطبيق، على نمط معين من أنماط الليف، مسافات أطول من المسافات التي يمكن تطبيقها عند استعمال إشارة مثالية بتشكيل الشدة. ولا تُستخدم هذه الطرائق إلا في الأنظمة STM-64.

وتضم هذه التوصية حالياً التكييف DA عن طريق التعويض المنفعل للتشتت (PDC) والتشكيل ذاتي الطور (SPM) والتشكيل المسبق والإرسال بالتشتت (DST). ويتطلب اختيار الطريقة الأفضل مزيداً من الدراسة.

1.3.8 مبدأ التصميم

تكييف التشتت مطلوب فوق المدى من 50 إلى 60 km في ليف G.652 بمعدل معطيات الوحدات STM-64. وتقع الأنظمة S-64.2 تحت هذا الحد ولا تستعمل تقنية تكييف التشتت (DA). أما الأنظمة L-64.2 فتطبق شكلاً من أشكال التكييف DA من أجل تعويض التشتت الإضافي الحاصل في المدى من 40 إلى 80 km. ويتخذ تكييف التشتت أشكالاً مختلفة.

وتستخدم طريقتا التكييف DA الفاعلة والمنفعلة في الأنظمة L-64.2. وتستعمل الطريقة المنفعلة التعويض PDC للتعويض عن التشتت داخل الليف. وعلى العكس من ذلك، تنحت الطرائق الفاعلة (SPM وPCH وDST) معلمات السطح البيني على نحو يستبعد التشتت وذلك بواسطة التوازن. أما بالنسبة إلى الأنظمة V-64.2 فيضاف التكييف DA المنفعل الإضافي للتعويض عن 40 km إضافي من الليف.

وجميع الأشكال المقترحة حالياً لتكييف التشتت تعوِّض عملياً عن التشتت في مدى أصغر من المدى الواقع بين الصفر ونهاية الطول الكامل للوصلة. وقد ترتبط هذه الأنظمة بوجود بعض التشتت المتناهي في الصغر في الوصلة. ولذا تم إدخال المعلمة "أدنى تشتت لوني". وقد يكون من الضروري بالنسبة لبعض الأنظمة عند إخضاع أنظمة تكييف DA لاختبار بالأسلوب العروي إدخال تشتت أدنى في إعداد الاختبار. وهذا الأمر مماثل لاستخدام الموهنات بغية التخفيف من الحمولة الزائدة في مستقبل ما خلال الاختبار ظهراً لظهر.

وينبغي أن تتمتع جميع الطرائق بمواءمة أفقية داخل شفرة تطبيقها. غير أن المواءمة الأفقية ليست مضمونة طالما لم تتحدد الخصائص الطيفية وطرائق القياس. وتتطلب المواءمة الأفقية بين الطرائق المختلفة للتكييف DA مزيداً من الدراسة.

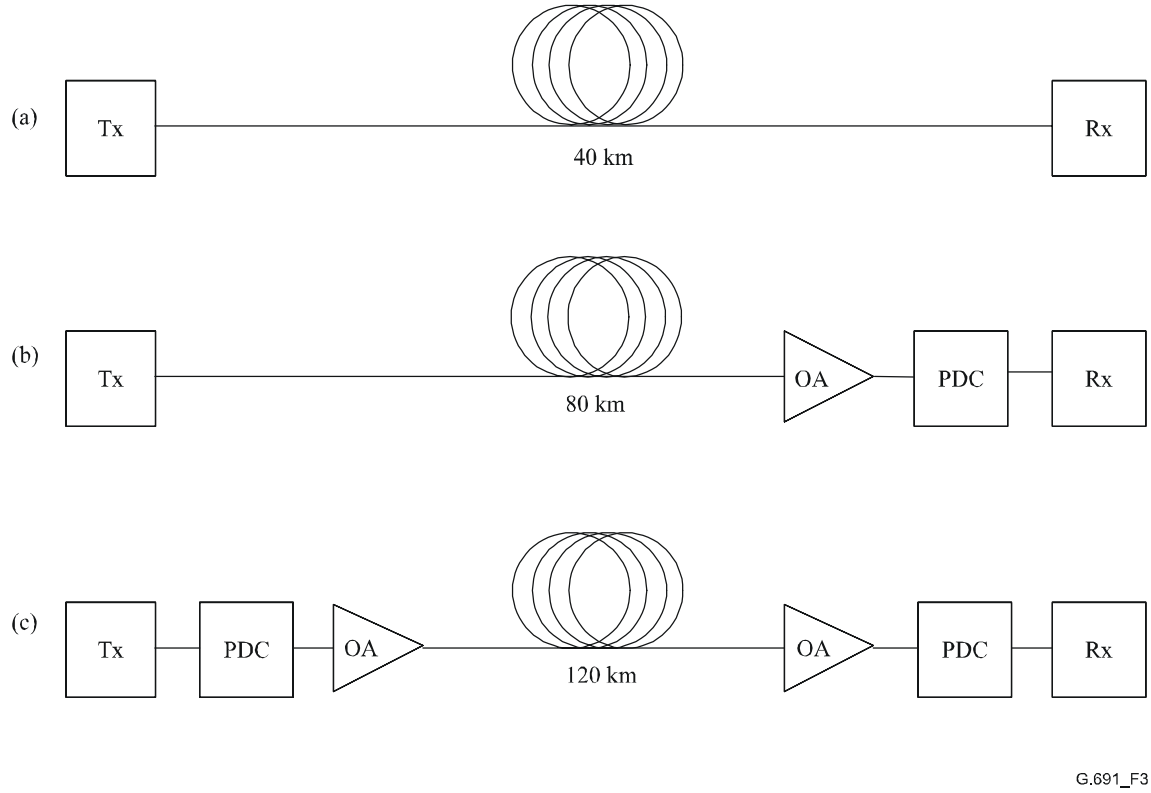
2.3.8 التعويض المنفعل للتشتت

تكمن طريقة التغلب على حدود التشتت في إضافة معوِّض منفعل للتشتت (PDC) إلى المرسل أو إلى المستقبل أو لكليهما. وتهدف هذه التوصية إلى تغطية جميع أنماط المعوِّضات المنفعلة للتشتت.

ويفترض ضمنياً أن المعوِّض PDC غير مدرج في المسير الرئيسي لأن الخسارة الناجمة عن إدراج الجهاز (وتمثل عدة dBs) تنقص من هامش التوهين الذي يمتلكه النظام. وبالمقابل يوضع المعوض PDC عادة قبل المكبر البصري للقدرة أو بعد المكبر البصري الأولي. ويستعمل كسب المكبرات للتعويض عن الخسارة الناجمة عن إدراج المعوض PDC دون المساس برصيد القدرة في النظام.

ولا يفترض هذا الوصف سوية خاصة لاندماج المرسل أو المستقبل أي أنه من الممكن إدخالهما في النظام على أساس أجهزة مستقلة أو على أساس مرسلات أو مستقبلات مدمجة مع تكبير بصري.

والمبدأ الأساسي لاستعمال المعوضات PDC في الأنظمة STM-64 هو أن الأنظمة S للمسافة 40 km مصممة بدون تكييف تشتت. وفي حالة تطبيقات المسافات الأطول مثل L-64.2 أو V-64.2، يضاف معوِّض PDC مع 40 km إضافية (راجع الشكل 3). وتبلغ عندئذ القيمة الاسمية للتشتت في كل معوِّض PDC –680 ps/nm في الموجات 1550 nm. أما القيمة الصحيحة بالضبط ومعرفة الحاجة إلى أن يعطي المعوِّض PDC زيادة أو نقصان في التعويض، فهما مسألتان تتطلبان مزيداً من الدراسة. ولا يحتاج المعوض PDC في النظام L-64.2 نظرياً إلى التعويض إلا عن الفارق بين المسافة المستهدفة وهو التشتت النمطي. غير أن ذلك يترك هوامش تشغيل ضئيلة. وتيسر هذه الطريقة أيضاً استعمال قدرات تصنيع التجهيزات المماثلة التي استخدمت في جميع الأنظمة. وتتحدد المعوّضات PDC في التوصية ITU-T G.671.



ملاحظة – تتطلب قيم المعوض PDC وموقعه مزيداً من الدراسة.

الشكل G.691/3 – مخطط التعويض المنفعل للتشتت في الأنظمة بدون مكبرات خط

وفي حال استعمال المعوِّض PDC من جهة المرسل فإنه يسبب تشوهاً مسبقاً للإشارة قبل إرسالها في المسير البصري. وعندها لا تتوفر في النقطة MPI-S المخططات على شكل عين للمرسل الواردة في الفقرة 4.2.6. وإذا تيسرت الإشارة غير المشوهة، تكون مواصفات مخططات العين صالحة في هذه النقطة. وتتطلب المواصفة الخاصة بمخططات العين في النقطة MPI-S فيما يتعلق بالأنظمة بالتشوه المسبق، مزيداً من الدراسة.

ونظراً إلى أن استعمال معوِّض PDC من جهة المرسل يفترض استعمال مكبر بصري للقدرة من أجل التعويض عن توهين المعوض PDC فإن سويات القدرة ستكون مرتفعة إلى حدٍ غالباً ما يكفي لتوليد تشكيل ذاتي الطور وغير ذلك من الآثار اللاخطية في الإشارة. غير أن المعوض PDC هو معوض تشوه خطي وأن تشوهاً غير خطي للإشارة المرسلة قد يسبب انحطاطاً في تعويض التشتت الخطي إذا ما طبق على المرسل.

فيما يتعلق بالنظام L-64.2 فإن الموقع المحدد للمعوض PDC يوجد عند المستقبل، مما يؤدي إلى استعمال مكبر أولي بصري ومرسل دون تكبير ويقدم نظاماً لا يعمل في النظام اللاخطي.

وفيما يتعلق بالنظام V-64.2، حيث استعمال مكبر القدرة ضروري، يتوجب اتخاذ تدابير إضافية لضمان عدم تسبب التأثيرات اللاخطية لانحطاط كبير في تعويض التشتت الخطي إذا ما طبق على المرسل. وينبغي دراسة هذه المسألة.

وفي حال وضع المعوّض PDC في تمديدات الليف يعتبر بأنه يشكل جزءاً من المسير و"يحوِّل" مسيراً G.652 إلى مسير G.653 بشكل طبيعي إذا كانت قدرة المرسل أقل من +10 dBm تقريباً وكان سلوك المسير البصري خطياً. ويعتبر النظام ذاته نظاماً X-xx.3، وتقدم شفرات التطبيق X-xx.3 شروط النظام الخاصة بالتوهين في المسير وبالتشتت. ويعتبر التعويض الجزئي للمسير تقنية توصيل ولا يدخل ضمن إطار هذه التوصية.

3.3.8 التشكيل ذاتي الطور (SPM)

يستعمل التشكيل SPM تأثير Kerr اللاخطي في الليف G.652 من أجل الحصول على انضغاط بنبضة ينتج زيادة مسافة الإرسال. ويقدم التذييل II وصفاً تعليمياً لهذه التقنية.

ونظراً إلى أن هذه التقنية تتطلب وجود سوية قدرة إشارة داخل النظام اللاخطي لليف، فإن تأثير تعويض التشتت بالتشكيل SPM ناجم عن القدرة المرسلة ويحدث في ليف الإرسال قرب المرسل طالما بقيت قدرة الإشارة تحت عتبة اللاخطية. وعندما تنتشر الإشارة على مسافة تتراوح بين 15 و40 km (مع القدرات المستعملة في النظامين L-64.2 وV-64.2)، فإنها تضعف إلى حد لا يخوِّلها البقاء في النظام اللاخطي. أما باقي الانتشار فهو بالتالي خطي. وبذلك تتوافر إمكانية جمع التشكيل SPM جهة المرسل مع التعويض PDC جهة المستقبل.

ويؤثر تشكيل تردد النبضة أيضاً على انتشار النبضة، الأمر الذي يمكن استخدامه أيضاً لانضغاط النبضات. ولذا فمن الضروري تحديد معلمة التشكيل. ويستحسن من أجل عدم الإفراط في تعويض التشتت أن تكون معلمة التشكيل قريبة من الصفر عند استعمال التشكيل SPM.

ويرتبط التشكيل الذاتي الطور اللاخطي أيضاً بشكل النبضة، مما قد يؤدي إلى وجود مخططات مختلفة للأنظمة التي تستخدم التشكيل SPM مقارنة بالأنظمة الخطية. وتتطلب هذه المسألة مزيداً من الدراسة.

4.3.8 الارتجاج المسبق

هناك طريقة أخرى تستخدم التشكيل المسبق في المرسل من أجل الحصول على تأثير انضغاط النبضة وبالتالي زيادة مسافة الإرسال. غير أن استعمال مرسل عالي القدرة في هذه الحالة قد يسبب ارتجاجاً مسبقاً وتشكيلاً ذاتي الطور في نفس الوقت. وقد ينجم عن هذه الحالة إفراط في التعويض في النظام بالنسبة إلى شفرة التطبيق L-64.

لذا يستعمل مخطط الارتجاج المسبق مع مرسل منخفض القدرة ومستقبل بتكبير بصري أولي. مما يؤدي إلى فدرات مرسلة ضرورية قدرها –1 dBm، الأمر الذي قد يكون عسير المنال حالياً مع جميع أنماط المرسلات. وتتطلب معلمات السطح البيني والمرسلات والمستقبلات لشفرة التطبيق هذه مزيداً من الدراسة.

5.3.8 جمع التقنيات

تنطوي الطريقة الوحيدة المحددة حالياً لجمع تقنيات تكييف التشتت على استخدام التشكيل SPM مع المعوض PDC في النظام V-64.2. ويُستخدم التشكيل SPM لتكييف التشتت في أول 80 km كما هو الحال في النظام الأساسي القائم على التشكيل

SPM للنظام L-64.2b، ويتم التعويض عن الأربعين كيلومتراً المضافة بالكامل باستعمال المعوض PDC. ويحدث هذا التعويض الأخير في النظام الخطي ويستحسن ألاّ يتأثر بالتقنية اللاخطية المستخدمة في القسم الأولي من الوصلة.

وبطريقة مماثلة، يمكن جمع نظام DST لمسافة مستهدفة قدرها 80 km (DST L-64.2) مع معوِّض PDC في نظام V-64.2 إذا ما تم التعويض بالكامل بالنسبة إلى الأربعين كيلومتراً المضافة باستعمال المعوض PDC.

6.3.8 الإرسال بالتشتت

توجد طريقة أخرى هي الإرسال بالتشتت (DST). وتستعمل الجمع بين تشكيل الشدة والتردد، بدلاً من تشكيل الشدة من أجل التغلب على التشتت. ويقدم التذييل III وصفاً تعليمياً ومواصفة للطريقة DST كما يتم تطبيقها في النظامين L-64.2 وV-64.2.

4.8 المكبرات المستقلة

يستعمل المكبر المستقل (جهاز مكبر بصري) في التمديدات الجديدة أو كمسير أعلى. وفي جميع الأحوال، يمثل مكبر القدرة أو المكبر الأولي المستقل سطحاً بينياً مع المسير الرئيسي، كما يرد تحديده في هذه التوصية، من جهة ونظام غير مكبر (G.957 وS-64.x وغيرها) من الجهة الأخرى. ونظراً إلى أن الغرض من المكبر المستقل هو زيادة مسافة الإرسال، فيجب أن يتأكد مُكامل النظام أن خصائص النظام غير السطوح البينية بدون تكبير تمكِّنه من العمل على طول المسافة الممدَّدة. وقد يتطلب ذلك أمدية أطوال موجات وخصائص طيفية كتلك التي وردت في الفقرتين G.957/1.6، وG.957/2.2.6، وقيم معلمات إضافية مطابقة لأحكام هذه التوصية.

وفي حال عدم امتلاك النظام الأساسي للخصائص اللازمة للتشغيل بعيد المدى، يمكن تمديد وظيفة المكبر المستقل من أجل تكييف هذه المعلمات وجعلها متوائمة مع هذه التوصية. فبالإمكان، على سبيل المثال، تطبيق بعض تقنية تكييف التشتت كما هو مبين في الفقرة 3.8 أو استعمال مرسل مستجيب لتحويل الطيف.

وبالإمكان الإشراف على مكبرات القدرة/ المكبرات الأولية المستقلة باستخدام سطح بيني كهربائي مع تجهيزات SDH أو باستخدام نفاذ مباشر إلى نظام الإدارة.

5.8 اعتبارات التطوير

من المتوقع أن تزداد متطلبات استطاعة الإرسال للأنظمة التي تغطيها هذه التوصية في المستقبل القريب. وتطوير هذه الأنظمة سر مجابهة هذه المشكلة.

يعني مصطلح "التطوير" كل تعديل يدخل على التجهيزات بهدف تحسين أدائها دون الحاجة إلى ألياف جديدة أو تركيبات جديدة. وتتطلب غالبية التحسينات استبدال التجهيزات التي تقتضي تحسيناً خارج الخدمة تحديداً. غير أنه يمكن استعمال التبديل الوقائي من أجل الإبقاء على النظام في الخدمة أثناء وجود أجزاء محددة خارج الخدمة. ولا يضحَّى عموماً بأداء النظام من أجل تطويره.

وقد تحسِّن تقنية التصحيح الأمامي للأخطاء (FEC) نسبةَ الأخطاء في البتات (BER) والهامش الإضافي للنظام معاً. أما بالنسبة للأنظمة SDH الواردة في هذه التوصية فلا يمكن تطبيق سوى تقنية FEC في النطاق وفقاً للتوصية ITU-T G.707/Y.1322. غير أن قيم المعلمات البصرية المحددة لشفرات التطبيق قابلة للتطبيق عندما يكون التصحيح FEC غير نشيط. وينبغي دراسة مسألة إمكانية تعديل قيم المعلمات البصرية أثناء تشغيل التصحيح FEC.

وتقسم أنواع التطويرات إلى فئات ترد في الفقرة 1.5.8 وتليها إرشادات خاصة بالتطوير في الفقرة 2.5.8.

1.5.8 أنماط التطوير

1.1.5.8 التطوير لبلوغ مسافات أطول

يعني عموماً التطوير لبلوغ مسافات أطول "إعادة استعمال التجهيزات أو استبدالها"، إذ إن المسافات الأطول تتطلب مسافة توهين أكثر طولاً وقيم تفاوت أكثر انخفاضاً فيما يخص الخصائص الطيفية مثلاً.

2.1.5.8 التطوير لبلوغ معدلات أعلى

يعني تمديد الاستطاعة بهدف بلوغ معدلات أعلى، استبدال التجهيزات، ويؤدي إلى انقطاع الخدمة إن لم تتخذ تدابير إضافية (مثل التبديل الوقائي). وتكون المسافات المستهدفة للأنظمة "ما بين المكاتب" متساوية في كل نطاق طول موجة داخل نطاق أطوال الموجات (مثال 40 km في نطاق طول الموجة 1550 nm و20 km في نطاق طول الموجة 1310 nm).

ويقدم التذييل V معلومات إضافية عن التحسينات التي يمكن إدخالها للوصول إلى أنظمة بمعدلات أكثر ارتفاعاً.

3.1.5.8 التطوير للانتقال من الأنظمة أحادية القناة إلى الأنظمة متعددة القنوات

تطوير النظام أحادي القناة ليصبح نظاماً متعدد القنوات هو التطوير الذي يجري خارج الخدمة مع إعادة استخدام التجهيزات. وفي حال ضرورة تمديد استطاعة النظام، يستحسن استعمال نظام متعدد القنوات منذ البداية.

4.1.5.8 التطوير باستخدام المكبرات البصرية المستقلة

عند استعمال مكبر مستقل لأغراض التطوير، تطبق نفس الاعتبارات الواردة في الفقرة 4.8.

2.5.8 الخطوط التوجيهية الخاصة بالتطوير

قد لا تظهر فوائد التطوير الخاصة بالأنظمة أحادية القناة ومتعددة القنوات دون مكبرات خط إذ إنه من الضروري تعديل المرسل والمستقبل بالمكبر البصري تعديلاً كبيراً أو حتى تغييرهما من أجل تحسين معدل البتات بينما لا يعاد استعمال إلا الألياف.

وقد لا تظهر فوائد التطوير عند الانتقال من أنظمة أحادية القناة إلى أنظمة متعددة القنوات. والسبب هو أن فلسفة تصميمها مختلفة جداً من وجهات نظر كثيرة، بما في ذلك تصميم مكبر الألياف ومراقبته ورصيد القدرة ولا خطية الألياف المتعلقة بالتشتت وكذلك نسب الإشارة إلى الضوضاء.

6.8 اعتبارات السلامة البصرية

راجع التوصية ITU-T G.664 بشأن اعتبارات السلامة البصرية.

الملحق A

قيم الجزاء في نسبة الخمود والمخطط على شكل العين

1.A معلمات القياس

تقع مواصفة قياس المخطط في جزئين، جزء خاص بالسطحين البينيين STM-4 وSTM-16 وجزء آخر للسطح البيني STM-64.

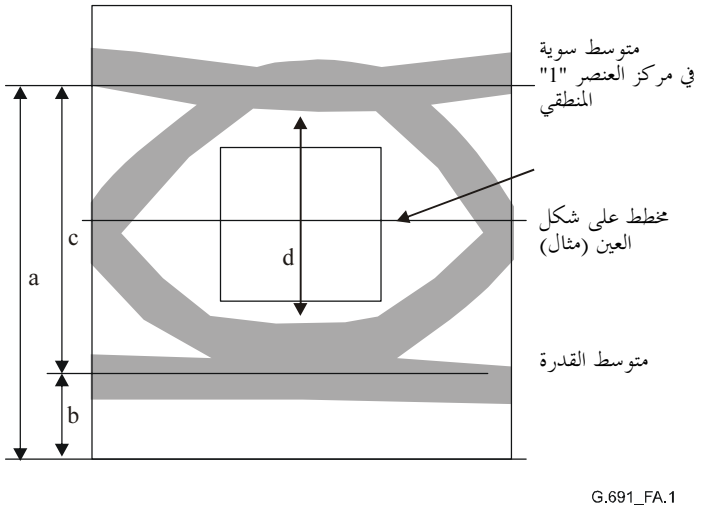
i) فيما يخص الوحدات STM-16/STM-4، يفترض إجراء قياس بمخطط على شكل عين ومرسل مرجعي وفق ما تحدد في الملحق G.657/B، أي بمرشاح بسيل- تومسون من الرتبة الرابعة وترددات قطع مناسبة لمعدل البتات المعني. ويقدم الجدول 1.A قيم التفاوت المسموح بها لهذا المستقبل المرجعي.

ii) فيما يخص الوحدات STM-64 أيضاً يفترض إجراء قياس بمخطط على شكل عين ومرسل مرجعي وفق ما تحدد في الملحق G.957/B، أي بمرشاح بسيل- تومسون من الرتبة الرابعة وترددات قطع مناسبة للوحدة STM-64. غير أن وظيفة المستقبل المرجعي البصرية بالنسبة إلى هذا المعدل محددة بأنها الاستجابة الترددية الكلية لجميع العناصر الوظيفية للمكشاف الضوئي ومرشاح التمرير المنخفض وكاشف التذبذب وكذلك جميع التوصيلات البينية لهذه العناصر. وتبين قيم التفاوت المسموح بها لوظيفة النقل هذه في آخر عمود (STM-64) في الجدول 1.A.

الجدول G.691/1.A – قيم التفاوت المسموح بها لتوهين المستقبل المرجعي البصري

f/f_r	[dB] Δa		
	STM-4	**STM-16**	**STM-64**
0,001 إلى 1	±0,3	±0,5	±0,85
1 إلى 2 (ملاحظة)	±0,3 إلى ±0,2	±0,5 إلى ±0,3	±0,85 إلى ±0,4
ملاحظة – يستحسن إجراء استكمال داخلي خطي للقيم Δa المتوسطة في سلم ترددات لوغاريتمي.			

يبين الشكل 1.A قيم الجزاء التي قد تنجم عن نواقص في مخطط شكل العين ونسبة الخمود (EX). فالنسبة EX في هذا الشكل هي النسبة a/b وفتحة العين التابعة لها هي النسبة d/c. وتكون النسبة EX مثالياً لا نهائية والعين مفتوحة بالكامل ومتناظرة. وبالتالي تتوفر القدرة البصرية بكاملها للتشكيل وتساوي قيم جزاء النسبة EX ومخطط شكل العين 0 dB.



الشكل G.691/1.A – قيم الجزاء في مخطط شكل العين وفي نسبة الخمود

2.A الجزاء في نسبة الخمود

ينتج عن نسبة الخمود عدم تيسر جزء من القدرة البصرية للتشكيل؛ وتقابل هذه النسبة قيمة الجزاء في حساسية المستقبل. وترتبط دقة قيمة الجزاء بالتطبيق وباختيار تطبيق المستقبل.

3.A الجزاء في مخطط شكل العين

إضافة إلى النسبة EX المحدودة، قد تغلق عين المخطط عند السويات المتوسطة للقيمتين المنطقيتين "0" و "1"، وذلك بسبب نواقص في الإشارة العابرة مثل أوقات الصعود والهبوط والتذبذب المفرط وغير ذلك. وإذا كانت فتحة العين النسبية، d/c، أقل من واحد، فالجزاء قد حصل. ويمكن التعبير عن قيمة الجزاء في مخطط شكل العين، P_{EM} بالصيغة التالية:

$$P_{EM} = 10\log_{10}\left(\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{c}}\right) \quad [\mathrm{dB}]$$

وتعادل خسارة حساسية المستقبل نسبةً إلى إشارة ذات عين مفتوحة بالكامل.

ونظراً إلى أن النسبة BER هي دالة بشدة انحدار فائقة، فإن نقصاً وحيداً يحدد النسبة BER بالكامل. وبالتالي فإن الخطوط الداخلية للعين (العين المفتوحة) هي التي تحدد النسبة BER. وحتى الخطوط النادرة المرئية بصعوبة في قياس مخطط العين (من جراء محدودية وقت القياس) لها تأثير هام على النسبة BER.

ويسمح هذا المخطط بأن تصل نسبة إغلاق العين إلى 50%. وترتبط قيمة الجزاء الحقيقية للنظام والمصاحبة لإغلاق العين بتطبيقات النظام. وقد يُقدر الجزاء في مخطط العين في حالة معينة بشكل جيد ومعقول بأنه فتحة العين النسبية (الشاقولية) لنقطة القرار في المستقبل.

ويستحسن من أجل تقويم قيمة الجزاء في مخطط شكل العين، أن يكون مرشاح القياس وإجراء قياس مخطط شكل العين مكافئين لسلوك المستقبل المستعمل. وبما أن هذه المسألة غير محددة بدقة فإن الجزاء في مخطط شكل العين لا يشكل خسارة دقيقة للمستقبل. غير أن التقابل عموماً مفيد، إذ إن غالبية تصاميم المستقبلات تشبه إلى حد كبير المرشاح المستخدم في إجراء قياس مخطط شكل العين.

4.A حساسية المستقبل

يمكن إضافة خسارة نسبة الخمود إلى خسارة مخطط شكل العين والتعبير عنهما بوحدات الديسبل. مثال: إذا كانت قيمة جزاء النسبة dB 1,3 EX وقيمة جزاء المخطط dB 3، تكون حساسية إشارة الحالة الأسوأ أقل منها في حالة استعمال المستقبل المثالي بمقدار dB 4,3.

ويستحسن قياس حساسية المستقبل في شروط الحالة الأسوأ وذلك وفقاً لتعريفها. وإلاَّ فيمكن تقدير تصحيح حساسية المستقبل الناجمة عن قياسات بشروط مناسبة أكثر من الحد استناداً إلى النسبة EX والفتحة النسبية لعين مخطط المرسل الخاضع للاختبار. وقد يفضل هذا التقدير على اختبار إشارة الحالة الأسوأ تماماً لصعوبة توليدها.

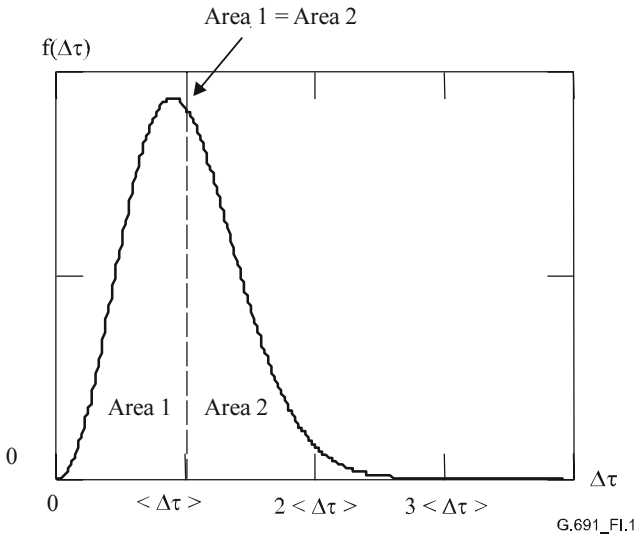
التذييل I
التشتت بأسلوب الاستقطاب

1.I التوزيع الإحصائي للتشتت بأسلوب الاستقطاب

إن زمن الانتشار التفاضلي لمجموعة الترددات (DGD) بين حالات الاستقطاب في ليف يحتفظ بعدم الاستقطاب هو، كما يرد في الفقرة 3.2.3.6، متغير عشوائي. وغالباً ما يفترض أن توزيعه هو توزيع ماكسويل مع دالة كثافة الاحتمال التالية:

$$f(\Delta\tau) = 32\frac{\Delta\tau^2}{\pi^2 < \Delta\tau >^3}\exp\left(\frac{4\Delta\tau^2}{\pi < \Delta\tau >^2}\right)$$

حيث $\Delta\tau$ هو الزمن DGD و$< \Delta\tau >$ هو متوسط الزمن DGD. ويبين الشكل 1.I دالة كثافة الاحتمال $f(\Delta\tau)$. غير أن النظام يمثل في لحظة معينة زمناً DGD خاصاً، τ، هو عبارة عن تحقيق التوزيع العشوائي لقيم الزمن DGD مع العلم أن المعدل يعطيه التشتت PMD في الوصلة. وبذلك قد يُعاني قطار النبضات من فارق زمني أعلى أو أدنى من معدل التشتت PMD في الوصلة.



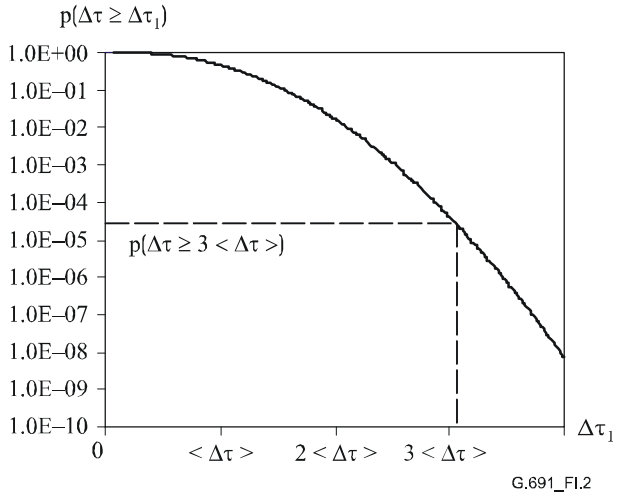
الشكل G.691/1.I – دالة توزيع ماكسويل (توضيح) –
دالة كثافة الاحتمال بدلالة زمن الانتشار التفاضلي لمجموعة الترددات، $\Delta\tau$

ويعطي إدخال دالة كثافة الاحتمال هذه من $\Delta\tau_1$ إلى $+\infty$ الاحتمال $P(\Delta\tau \geq \Delta\tau_1)$.

$$P(\Delta\tau \geq \Delta\tau_1) = \int_{\Delta\tau_1}^{\infty} f(\Delta\tau)d(\Delta\tau)$$

ويرد وصف هذا الاحتمال $P(\Delta\tau \geq \Delta\tau_1)$ في الشكل 2.I.

وعلى سبيل المثال إذا كان الزمن DGD يساوي ثلاثة أضعاف معدل الزمن DGD، والزمن $\Delta\tau_1 = 3 <\Delta\tau>$ يمكن قراءة أن $P(\Delta\tau \geq 3< \Delta\tau >) \approx 4 \times 10^{-5}$ في الشكل 2.I.



الشكل G.691/2.I – الاحتمال $P(\Delta\tau \geq \Delta\tau_1)$

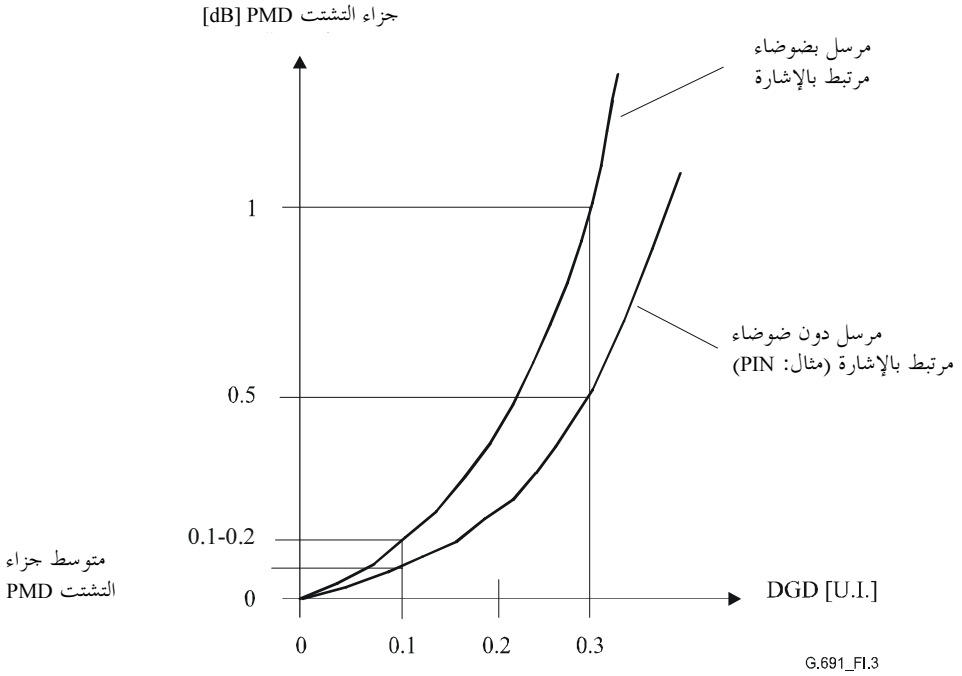
وتتوقف تغيرات الزمن DGD على حالات الاستقطاب المثارة في الليف والتقييدات في مختلف أجزاء الليف وتغيرات درجة الحرارة وغيرها، مما يعني أنها تتغير غالباً ببطء. وبافتراض أن الزمن DGD يستغرق يوماً لكي يتغير تغيراً كبيراً فإن الاحتمال المذكور أعلاه يقابل فترة مدتها 70 عاماً تستغرقها زيادة التشتت PMD حتى يبلغ ثلاثة أضعاف قيمة معدَّلِه.

غير أن المدة المميزة لتغيرات PMD تتأثر إلى حد كبير ببيئة الليف. والكبلات الهوائية على سبيل المثال قد تمتلك فترات تغير أقصر. وإذا افترضنا بالمقابل أن الفترة النموذجية هي دقيقة واحدة فإن التشتت PMD يزداد بمقدار ثلاثة أضعاف معدله تقريباً مرة كل 17 يوماً.

وتكون "فترة الانقطاع" التي ترتفع خلالها خسارة المسير الناجمة عن التشتت PMD، هي أيضاً من رتبة الفترة النموذجية أي يوم واحد ودقيقة واحدة في المثالين الواردين سابقاً على التوالي.

2.I جزاء المسير الناجم عن التشتت بأسلوب الاستقطاب (PMD)

بما أن التشتت PMD خاصية من خواص الليف فلا يمكن تحديده في هذه التوصية. لكن هناك الكمية الكلية للتشتت PMD في الوصلة التي تعادل جزاء المسير في الحالة الأسوأ ويبلغ 1 dB. وتستند الحالة الأسوأ إلى زمن DGD مدته 0,3 بتة مع افتراض أن الحالتين الرئيسيتين للاستقطاب (PSP) لها نفس القدرة البصرية.



الشكل G.691/3.I – جزاء المستقبل بدلالة الزمن DGD الفعلي (التوضيح)

ويفترض وجود دالة توزيع ماكسويل للزمن DGD (راجع الشكل 1.I). والعلاقة بين الزمن DGD (الذي يلتقي مباشرة مع توسيع عرض النبضة في الإشارة المستحثة في التشتت PMD إذا تم افتراض نفس القدرة البصرية في الحالتين PSP) وجزاء المسير هو إحدى خصائص المستقبل كما يوضحها الشكل 3.I. ويمكن من خلال فرضيات واقعية ومستقبلٍ جيد التصميم استنتاج أن الزمن DGD الفعلي لفترة قدرها 0,3 بتة (50% من القدرة البصرية في الحالتين PSP) يمثل جزاءً قدره 0,5 dB تقريباً في مستقبل بضوضاء مستقلة عن الإشارة (مستقبل PIN) قد تبلغ 1 dB في مستقبل بضوضاء مرتبطة بالإشارة (ثنائي المسار الضوئي APD أو مكبر أولي).

ويرتبط أقصى تشتت PMD مقبول لليف بعدة عوامل منها:

- التوزيع الإحصائي لزمن الانتشار التفاضلي لمجموعة الترددات (DGD)؛
- الاحتمال المقبول بأن يكون الجزاء أعلى من 0,5 dB (PIN) أو من 1 dB (مثل ثنائي المسار الضوئي APD)؛
- الترابط بين التراوحات الفضائية للحالات PSP وتراوحات الزمن DGD؛
- توجيه حالة الاستقطاب (SOP) لدخول الضوء الذي يرسله مرسل ليزر وذلك نسبة إلى توجيه الحالات PSP.

ويتطلب الترابط الفعلي بين التشتت PMD الأقصى المقبول والنبضة القصوى للإشارة مع التوسيع، مزيداً من الدراسة. ويمكن استنتاج تقدير أولي من خلال المثال التوضيحي التالي: يدل التشتت PMD الأقصى لفترة 0,1 بتة على احتمال قدره 4×10^{-5} لجزاء مسير أكبر من 1 dB في هذا المثال للسبب التالي: عندما يتغير الزمن DGD (عقب تقييد ما أو تغيير درجة حرارة مثلاً) عموماً ما يتغير أيضاً التوجيه الفضائي للحالات PSP. وبناء على ذلك يتغير توجيه حالة الاستقطاب (SOP) لمدخل ضوء مرسل الليزر بالنسبة إلى توجيه الحالات PSP. فالحالات PSP بالتراوحات الفضائية إذاً لن تحمل عموماً نفس القدرة البصرية مما يؤدي إلى خسارة أقل في المستقبل (لأن الاحتمال 4×10^{-5} ليس صالحاً إلاّ ضمن فرضية القدرة المتساوية في الحالتين الرئيسيتين للاستقطاب (PSP)). ويبدو أن احتمالاً مسموحاً قدره 4×10^{-5} لخسارة مسير أكبر من 1 dB يتيح تشتتاً PMD أقصى أكبر من فترة 0,1 بتة والعكس بالعكس.

التذييل II
وصف التشكيل ذاتي الطور كطريقة تكييف التشتت

1.II أسس التشكيل ذاتي الطور (SPM)

عند استعمال مرسلات عالية القدرة مثل أنظمة الإرسال الحدي البعيد بدون مكرر، تؤدي التأثيرات اللاخطية مثل التشكيل ذاتي الطور (SPM) دوراً هاماً في نوعية الإرسال. ففي الأنظمة بتشكيل الشدة، يتم إدخال تشكيل دليل انكسار الليف البصري بقدرات إرسال مرتفعة معطية بذلك أدلة انكسار مختلفة تتمثل في "1" نسبةً إلى "0" ضمن البتات. ويسمى تشكيل دليل الانكسار عن طريق تغيير سويات القدرة "تأثير كير".

ويشكل تغيير الشدة البصرية لنبضة معينة دليل انكسار الليف الذي يؤدي بدوره إلى تشكيل طور الموجة البصرية. وهي العملية التي تسمى "تشكيل ذاتي الطور" (SPM). ومشتقة الطور نسبةً إلى الزمن هي التردد وتمثل الإشارة البصرية تخالفاً لا تناظرياً للتردد نسبة إلى نقطته المركزية على نحو تعاني فيه المكونات الطيفية للوجه الصاعد للنبضة من زحزحة التردد باتجاه الأسفل (تخالف نحو الأحمر)، بينما تعاني المكونات الطيفية للوجه الهابط للنبضة من زحزحة التردد باتجاه الأعلى (تخالف نحو البنفسجي).

تنتقل المكونات المتخالفة نحو الأحمر في الليف G.652 بطول 1550 nm، ببطئ أكبر بينما تنتقل المكونات المتخالفة باتجاه البنفسجي بسرعة أكبر من بعضها البعض. وبالتالي تكون سرعة انتشار المكونات الطيفية في النبضة باتجاه الخلف أكبر من سرعتها باتجاه الأمام. وتؤدي هذه الظاهرة إلى نقص التأثير الصافي للتشتت اللوني (أو انضغاط النبضة)، وتؤخر بدء تحديد مسافة الإرسال المستحثة بالتشتت اللوني.

وتتناسب أقصى زحزحة طور يدخلها التشكيل SPM طرداً مع القدرة البصرية التي يدخلها المرسل وتتناسب عكساً مع معامل التوهين والمساحة الفعلية للب ليف الإرسال.

2.II التشكيل ذاتي الطور كتقنية تكييف التشتت

يلغي انضغاط النبضة الناجم عن التشكيل SPM توسيع النبضة الذي يحدثه تشتت الليف. وبالتالي يمكن استعمال التشكيل SPM كتقنية تكييف تشتت (DA). ويرتبط التشتت SPM المستعمل كتقنية تكييف التشتت بالمعلمات التالية وهي: قدرة خرج المرسل ومعامل توهين الليف ومساحة لب الليف ودليل لا خطية الليف وطول موجة المرسل والتشكيل الأدنى للمرسل والتشتت اللوني لليف.

وفي أنظمة المعدل 10 Gbit/s مع مساحة مستهدفة قدرها 80 km وألياف بتشتت غير متخالف، يمكن استعمال التشكيل SPM كتقنية تكييف للتشتت مع قدرات خرج مرسل تصل حتى +17 dBm، وتصل حتى +13 dBm وخسارة أقل من 1,5 dB مع ألياف بتشتت متخالف.

3.II انقطاع التشكيل SPM

هناك حد أعلى لقدرة خرج المرسل وهو حد انقطاع التشكيل SPM. وتتحدد سوية قدرة انقطاع التشكيل SPM بأنها القدرة المرسلة التي يتلاقى فيها الوجه الأمامي مع الوجه الخلفي للنبضة. وفي حال ازدياد القدرة المرسلة إلى أعلى من سوية انقطاع التشكيل SPM فإنها تحدث زيادة كبيرة في الخسارة.

والمعلمتان الرئيسيتان لتحديد سوية قدرة انقطاع التشكيل SPM هما وقت الصعود والهبوط، ونسبة الخمود. وتستعمل هاتان المعلمتان في ضبط مشتقات وقت القدرة البصرية وبالتالي التشكيل SPM. وتؤثر المعلمات الأخرى (مثل معامل توهين الليف والمساحة الفعالة للب الليف وغيرها) تأثيراً ضئيلاً على قدرة انقطاع التشكيل SPM مقارنةً بهذه المعلمات.

4.II قيم المعلمات البصرية في التطبيقات

طبقاً لمبدأ تشكيل الطور في الأنظمة STM-64، يطلب مبدئياً وصف السلوك الطيفي الدقيق لقيمة عرض الطيف الصافي للإشارة البصرية المرسلة. والمعلمة الإضافية الأكثر أهمية هي ارتجاج المصدر، ويرد وصفها أساساً بأنها المعلمة α في حالة المصادر المشكلة مباشرة. ويجب ملاحظة أنه إذا تحددت هذه القيمة فينبغي أن يكون ذلك ليس بالنسبة إلى عمل إشارة ضعيفة وحسب بل بالنسبة إلى إشارة قوية في الحالة البصرية غير الخطية للألياف أيضاً.

وتوجد طرائق لقياس هذه المعلمة. غير أن الطريقة الأكثر بساطة تنطوي على قياس السلوك أثناء الإرسال مع المسير البصري المقابل. وهذا يعني مبدئياً أنه من غير الضروري فعلاً تحديد هذه المعلمة ولكن يلزم تحديد جدول يبين قيم المستقبل والمرسل علاوة عن قيم المسير. وبذلك يتحدد السلوك الطيفي للمرسل بطريقة غير مباشرة وبنفس الوقت مع حساسية المستقبل وخصائص المسير أي التشتت والتوهين إن وجدا.

5.II نمط المصدر

غالباً ما يكون نمط المصدر البصري للإشارات بتشكيل الشدة للنمطين L وV بمعدل 10 Gbit/s، ليزراً بتشكيل غير مباشر حيث يمكن استعمال تطبيقات Mach-Zehnder أو مشكل بامتصاص كهربائي. وبعد دمج مكبر القدرة مع المرسل البصري يمكن استعماله عادة لبلوغ قدرات الإرسال المطلوبة. غير أن التطبيقات لا تخضع للتقييس ولا يحتفظ إلا بالقيم ذات الصلة المحددة في الجدولين 4 و5. إضافة إلى هذه القيم، من الضروري تعريف مخطط شكل العين بغية الحصول على المواءمة الأفقية.

6.II المخطط على شكل العين

يستحسن تحديد الخصائص العامة لشكل النبضة المرسلة بما في ذلك وقتي الصعود والهبوط وإفراط تذبذب النبضة ونقصانه، الأمران اللذان ينبغي السيطرة عليهما من أجل تجنب انحطاط الأداء، على أن تقدم جميع هذه القيم في مخطط على شكل العين صالح عند النقطة المرجعية MPI-S.

7.II المستقبل

يمكن استعمال تطبيقات مستقبل بنظام كشف مباشر لأغراض هذه الأنظمة التي تطبق مخطط تشكيل الشدة. لكن هذا التطبيق غير خاضع للتقييس. وتعرض القيم المطلوبة للحساسية ولعامل الانعكاس في الجدولين 4 و5.

التذييل III
تكييف التشتت باستخدام إرسال التشتت

1.III مقدمة

إرسال التشتت (DST) تقنية فعالة لتكييف التشتت (DA). فالمرسل يولّد إشارة بصرية تضم تشكيلاً مناسباً للتردد البصري. ويستعمل التشتت اللوني لليف الإرسال في تحويل تشكيل التردد البصري إلى تشكيل شدة في المستقبل. وباستعمال هذه الظاهرة، يصبح الإرسال إلى ما بعد حد التشتت النمطي (بالنسبة إلى التشكيل ASK التقليدي مع طيف مصدر مثالي بمتحولة محدودة) ممكناً. ويتناول هذا التذييل عرض وصف تعليمي للتقنية DST ومعلمات الأنظمة DST وقيمها.

2.III مبدأ تقنية الإرسال بالتشتت (DST)

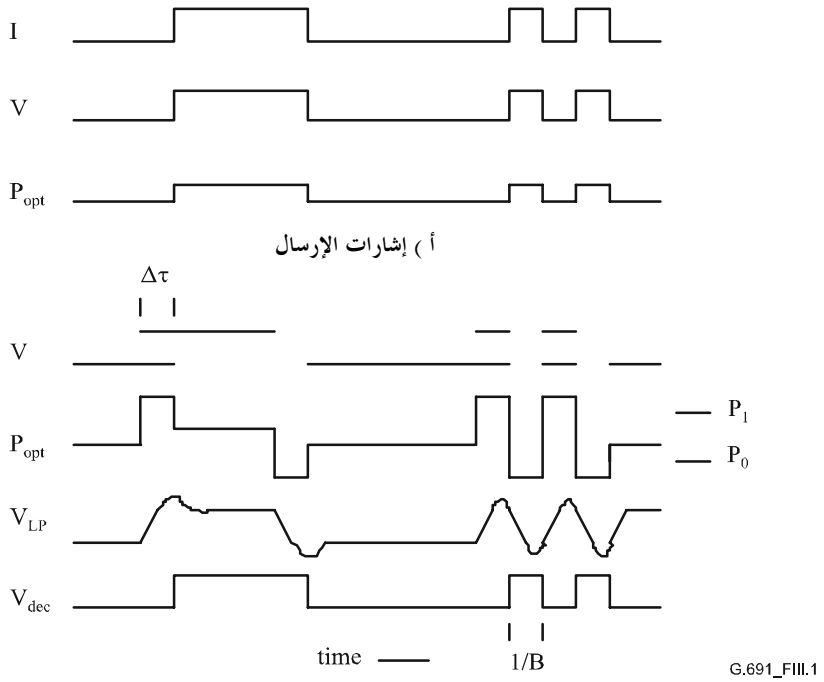
يولد المرسل البصري إشارة خرج بصرية بتشكيل FSK/ASK (أو بتشكيل بصري FSK محض) في مخطط الإرسال الجديد. ويستعمل الليف المشتت في تحويل جزء التشكيل FSK من الإشارة جهة المرسل إلى جزء تشكيل ASK من الإشارة جهة المستقبل. ثم يكشف المستقبل البصري إشارة التشكيل الكاملة.

ويتم تبديل التردد البصري ν بواسطة إشارة اثنينية داخلة، بين قيمتين مع زحزحة التردد $\Delta\nu$ التي تعادل زحزحة طول الموجة: $\Delta\lambda = \Delta\nu\lambda^2/c$. وينجم عن تشتت الليف وصول المكونات المختلفة للإشارة بأطوال موجاتها المختلفة إلى مخرج ليف طوله L في لحظات مختلفة. ويعبر عن الفرق الزمني $\Delta\tau$ بالصيغة $\Delta\tau = \Delta\lambda D\ L$. وتُولَّد إشارة من السوية 4 (أو 3) جهة المستقبل. ويمكن استعادة الإشارة الأولية عن طريق:

أ) مرشاح تمرير منخفض ودارة قرار بعتبة وحيدة؛

ب) كشف بعتبتين مع العتبتين P_1 وP_0 مع ذاكرة.

ويوضح الشكل 1.III مبدأ "الإرسال بالتشتت" لإشارات الإرسال أ) وإشارات الاستقبال ب)، حيث يدل I على نبضة تزامن الإرسال وV على التردد البصري وP_{opt} على القدرة البصرية للدخل وV_{LP} على التوتر عند مخرج مرشاح التمرير المنخفض (LP)
وV_{dec} على التوتر عند مخرج دارة القرار.



أ) إشارات الإرسال

ب) إشارات الاستقبال بعد ليف مشتت طوله L

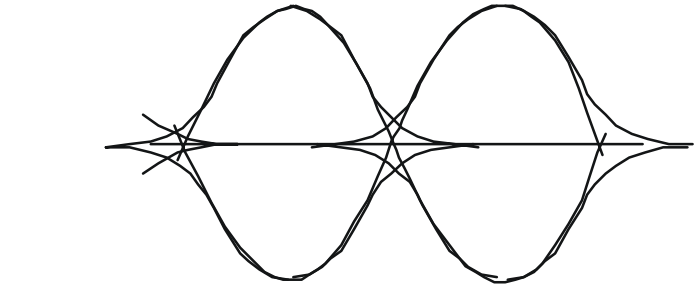
الشكل G.691/1.III – مبدأ الإرسال بالتشتت؛
إرسال بصري بالتشكيل FSK/ASK

ويمكن أيضاً وصف مبدأ الإرسال بالتشتت (DST) باتباع تحليل الإشارات الضعيفة في مجال التردد: يؤدي التردد الكظيم (تشكيل تردد بصري) للإشارة البصرية المرسلة مع تأثير التشتت اللوني لليف إلى خصائص نقل من نوع التمرير المرتفع

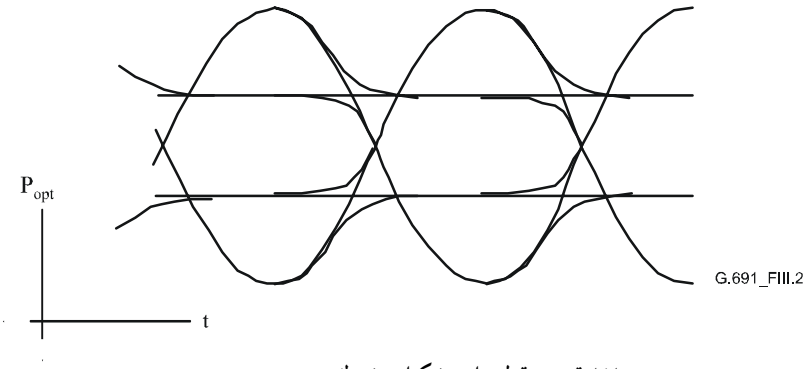
للترددات المنخفضة. ويمكن تسوية الاستجابة في المجال الكهربائي باستعمال على سبيل المثال مرشاح تمرير منخفض ("مرشاح DST") في المستقبل.

3.III مخطط شكل العين للمستقبل البصري بعد إرسال ليف مشتت

على عكس مخطط شكل العين لمستقبل ذي سويتين خاص بالإشارة البصرية الصافية بالتشكيل ASK، تمثل الإشارة البصرية الصافية بالتشكيل FSK مخطط شكل العين لمستقبل بثلاث سويات. وتمثل إشارة تشكيل مشترك FSK/ASK مخطط شكل العين لمستقبل بأربع سويات بعد إرسالها عبر ليف مشتت كما هو مبين في الشكلين 2a.III) وb)، على التوالي.



a) إشارة بصرية لمرسل بتشكيل FSK



b) إشارة بصرية لمرسل بتشكيل مشترك FSK/ASK

الشكل G.691/2.III – مخططان على شكل العين للمستقبل بعد استقباله لليف مشتت

4.III تعاريف المعلمات

لا يعرّف هنا سوى المعلمات التي تنطبق تعاريفها حصراً على الإرسال بالتشتت (DST) أو تلك التي تستدعي بعض الشروحات. وترد في الفقرة 6 تعاريف معلمات أخرى تنطبق تماماً على الطريقة DST إن لم يرد تعريف آخر لها في هذه الفقرة.

1.4.III مرسل في النقطة المرجعية MPI-S

1.1.4.III انحراف التردد

يستعمل انحراف التردد للتأكد من أن الإشارة المرسلة تمثل كمية التشكيل المناسبة للتردد البصري بالنسبة إلى مدى الإرسال ذي الصلة.

ويتحدد انحراف التردد $\Delta\nu$ لإشارة بصرية ترسل من النقطة المرجعية MPI-S على النحو التالي $\Delta\nu = \nu_1 - \nu_{\tilde{0}}$، حيث ν_1 هو التردد البصري ν أثناء إرسال الإشارة التي تمثل الرمز المنطقي "1" (ويعادل أيضاً قدرة بصرية مرتفعة) و $\nu_{\tilde{0}}$ هو التردد البصري أثناء إرسال إشارة تمثل الرمز المنطقي "0" (ويعادل أيضاً قدرة بصرية منخفضة).

1.1.1.4.III طريقة القياس

يمكن تطبيق إجراء القياس الذي يرد وصفه في التذييل IV. ويتم تقدير المتغيرين V+(t) وV–(t) كما هو مبين في التذييل IV. ويعبر عن تشكيل التردد باستبانة زمنية $\nu_c(t) = \nu(t) - \nu_r$ بالصيغة التالية:

$$\nu_c(t) = (2\pi)^{-1}\,\mathrm{FSR}\,\arcsin\left(\frac{V^-(t)}{V^+(t)}\right)$$

$\nu_c(t)$ تُحسب وتمثل بيانياً مع P(t)، للمقارنة مع الشكل 4.IV.

$\nu_1 - \nu_r$ تُقدر استناداً إلى $\nu_c(t)$ في منتصف البتة الثالثة من الأثمون A1 (11110110).

$\nu_{\tilde{0}} - \nu_r$ تُقدر استناداً إلى $\nu_c(t)$ في منتصف آخر بتة من الأثمون A2 (00101000).

ويحسب انحراف التردد استناداً إلى المعادلة $\Delta\nu = \nu_1 - \nu_{\tilde{0}} = (\nu_1 - \nu_r) - (\nu_{\tilde{0}} - \nu_r)$.

(هناك طريقة أخرى لتقدير انحراف التردد بواسطة مخطط الاختبار المبين في الشكل G.957/1.II قيد الدراسة).

2.1.4.III مخطط شكل العين للمرسل

فيما يتعلق بأنظمة تشكيل الشدة (IM) المحض، يستعمل مخطط شكل العين للمرسل لتحديد خصائص شكل النبضات المرسلة وانحطاطاته. ونظراً إلى أن الأنظمة DST تستعمل تقنيتي تشكيل الشدة وتشكيل التردد لتسيير المعلومات، تستعمل تقنيتا قياس مخطط العين من أجل رصد خصائص إشارة الإرسال البصرية في النقطة المرجعية MPI-S.

1.2.1.4.III مخطط شكل العين للتشكيل IM

يحدد تعريف مخطط شكل العين للتشكيل IM جزء تشكيل الشدة من الإشارة ويماثل تعريف واستعمال المخطط المذكور في الفقرة 4.2.6. ويقدم الجدول 1.III المبين أدناه قيم لمخطط التشكيل IM حسب تحديده في الفقرة 4.2.6، الشكل 2:

الجدول G.691/1.III – قيم مخطط التشكيل IM في الأنظمة DST

مخطط شكل العين للتشكيل IM في الوحدات STM-64 (DST)	
x_1/x_4	–
x_2/x_3	–
$x_3 - x_2$	0,2
y_1/y_2	0,3/0,6

2.2.1.4.III مخطط شكل العين FM/IM

مخطط شكل العين للتشكيلين FM/IM مزوَّد بوظيفة مقابلة لتشكيل التردد المستعمل من أجل مجابهة التشتت في الوصلة. ويضم اختبار المخطط FM/IM تحويلاً خاصاً للتشكيل FM إلى IM واستجابة تردد خاصة بالمستقبل المرجعي في إجراء قياس

المخطط وذلك لترئية الجزء FM من الإشارة أيضاً. ويرد لاحقاً وصف إجراء قياس المخطط على شكل العين للتشكيل FM/IM.

ويشبه إجراء القياس هذا الإجراء الوارد في الشكل G.957/1.B. وإضافة إلى ذلك يضم إجراء القياس الجديد:

i) عنصراً مشتتاً يمثل التشتت اللوني الذي يعادل طولاً محدداً لليف طبقاً للتوصية ITU-T G.652؛

ii) مكبراً بصرياً أولياً لتعويض توهين العنصر المشتِّت.

وتوضع التجهيزات الإضافية i) وii) بين المرسل الخاضع للاختبار والمدخل البصري للمستقبل المرجعي. وتتحدد وظيفة النقل $H(p)$ في المستقبل المرجعي البصري كالتالي (راجع الشكل G.957/2.B):

$$H(p)=\frac{U_0}{2U_2}$$

وتُستعمل لأغراض مخطط شكل العين للتشكيل FM/IM وظيفة النقل التالية للمستقبل المرجعي:

$$H = H_B \cdot H_D$$

حيث H_B تمثل استجابة بسيل- تومسون من الرتبة الرابعة وفق أحكام الملحق G.957/B وH_D مرشاح التمرير المنخفض من الرتبة الأولى، ويعبّر عنها كالتالي:

$$H_D=\left(1+j\frac{f}{f_g}\right)^{-1}=\left(1+\frac{f_r}{f_g}p\right)^{-1}=\left(1+0.75\frac{f_0}{f_g}p\right)^{-1}=\left(1+\frac{0.75}{2.114}\frac{f_0}{f_g}y\right)^{-1}$$

حيث:

$$p=j\frac{\omega}{\omega_r},\ y=2.114p,\ \omega_r=1.5\pi f_0,\ f_0=\text{bit rate},\ f_r=0.75f_0 \quad = \text{معدل بتات}$$

مع تردد انقطاع f_g.

ويمكن إنجاز هذا المرشاح عملياً. ويقترح كبديل إنجازه على شكل برنامج حاسوبي وذلك باستعمال حاسوب شخصي (PC) مثلاً أو محلِّل لمخططات شكل العين: وتتطلب هذه المسألة مزيداً من الدراسة.

ويوفر الجدول 2.III الوارد أدناه القيم الخاصة بالعنصر المشتت الذي خضع لتشتت لوني مكافئ لطول محدد من الليف طبقاً للتوصية ITU-T G.652 وكذلك تردد قطع مرشاح المستقبل f_g المستعمل في تركيب القياس:

الجدول G.691/2.III – قيم مراشيح الإرسال DST

	الوحدة	DST L-64.2/1	DST L-64.2/2	DST V-64.2
تردد قطع المرشاح	MHz	2500	2500	1400
الطول المكافئ لليف (التوصية ITU-T G.652)	km	80	80	120

بعد تحويل الإشارة في العنصر المشتت وإدراج استجابة التردد المعدَّلة للمستقبل المرجعي لأغراض قياس مخطط شكل العين يكون التعريف والإجراء مماثلين لتعريف وإجراء مخطط شكل العين للتشكيل IM الواردين في الفقرة 4.2.6.

ويبين الجدول 3.III قيم مخطط شكل العين للتشكيل FM/IM:

الجدول G.691/3.III – قيم مخطط شكل العين للتشكيل FM/IM في أنظمة الإرسال DST

مخطط شكل العين للتشكيل FM/IM للنظام STM-64 (DST)	
x_1/x_4	–
x_2/x_3	–
$x_3 - x_2$	0,2
y_1/y_2	0,3/0,6

2.4.III المستقبل في النقطة المرجعية MPI-R

1.2.4.III الحساسية الدنيا

تتحدد حساسية المستقبل بأنها أدنى حساسية مقبولة لمعدل القدرة المستقبلة في النقطة MPI-R من أجل الحصول على نسبة خطأ في البتات (BER) تعادل 1×10^{-12}. ويشمل تعريف حساسية المستقبل في الأنظمة DST على عنصر مشتَّت يقع بين النقطتين MPI-S
وMPI-R. ويساوي التشتت اللوني لهذا العنصر المشتت أدنى تشتت لوني محدد للمسافة المستهدفة المعنية، ويقدم الجدول 4.III هذه القيم. وتطبق أيضاً جميع الشروط المتعلقة بحساسية المستقبل الواردة في الفقرة 1.4.6، على المستقبل DST.

لا ترد في المتن الرئيسي تفاصيل بشأن إنجاز المستقبل كمواصفة الوظيفة الخاصة بنقل المرشاح مثلاً. ووظيفة نقل المرشاح في تركيب قياس مخطط المرسل هي الوظيفة الوحيدة التي يرد تقييسها في الملحق G.957/B. ولا يفترض ذلك أن المستقبل البصري في نظام الإرسال مزوَّد بنفس وظيفة نقل المرشاح.

وتطبق نفس الاستراتيجية في الأنظمة DST: ولا تقيَّس سوى وظائف نقل المرشاح في المستقبلات المرجعية لقياس مخطط المرسل. ولا تخضع للتقييس وظيفة نقل المرشاح في المستقبل البصري لنظام الإرسال. غير أنه بالإمكان تطبيق مرشاح تمرير منخفض في المستقبل واستعمال طريقة مختلفة مع دارة قرار متخصصة قادرة على كشف مخططات شكل العين متعددة السويات.

2.2.4.III الحد الأقصى لجزاء المسير البصري

يرد تعريف جزاء المسير البصري في الفقرة 3.4.6. ويطبق هذا التعريف أيضاً على الأنظمة DST مع مراعاة تعريف حساسية المستقبل في الأنظمة DST المشار إليها سابقاً.

5.III قيم المعلمات البصرية

يبيِّن الجدول 4.III قيم المعلمات البصرية.

الجدول G.691/4.III – قيم معلمات السطوح البينية البصرية STM-64 التي تستخدم الإرسال بالتشتت (DST)

رمز التطبيق	الوحدة	DST L-64.2/1	DST L-64.2/2	DST V-64.2
مرسل في النقطة المرجعية MPI-S				
مدى أطوال موجة التشغيل	nm	1565-1530	1565-1530	1565-1530
متوسط القدرة المحقونة				
– أقصى قدرة	dBm	3	13	17
– أدنى قدرة	dBm	0	10	14
الخصائص الطيفية				
– معلمة التشكيل القصوى α	rad	3,5	3,5	3,5
– أقصى انحراف تردد	GHz	8	8	6
– أدنى انحراف تردد	GHz	7	7	5
– أقصى كثافة قدرة طيفية	mW/MHz	0,02	0,02	0,02
– أدنى نسبة SMSR	dB	35	35	35
– أدنى نسبة خمود (EX)	dB	3	3	2
مسير بصري رئيسي من النقطة MPI-S إلى النقطة MPI-R				
مدى التوهين				
– أقصى توهين	dB	22	22	33
– أدنى توهين	dB	11	16	22
التشتت اللوني				
– أقصى تشتت لوني	ps/nm	1600	1600	2400
– أدنى تشتت لوني	ps/nm	800	800	1600
التعويض المنفعل للتشتت				
– أقصى تعويض	ps/nm	NA	NA	NA
– أدنى تعويض	ps/nm	NA	NA	NA
أقصى زمن انتشار DGD	ps	30	30	30
أدنى نسبة ORL لتمديدات الكبل في النقطة MPI-S بما في ذلك الموصلات المحتمل وجودها	dB	24	24	24
أقصى عامل انعكاس منفصل بين النقطتين MPI-S وMPI-R	dB	27–	27–	27–
مستقبل في النقطة المرجعية MPI-R				
أدنى حساسية	dBm	24–	14–	21–
أدنى حمولة زائدة	dBm	8–	3–	5–
أقصى جزاء للمسير البصري	dB	2	2	2
أقصى عامل انعكاس في المستقبل مقيساً في النقطة MPI-R	dB	27–	27–	27–

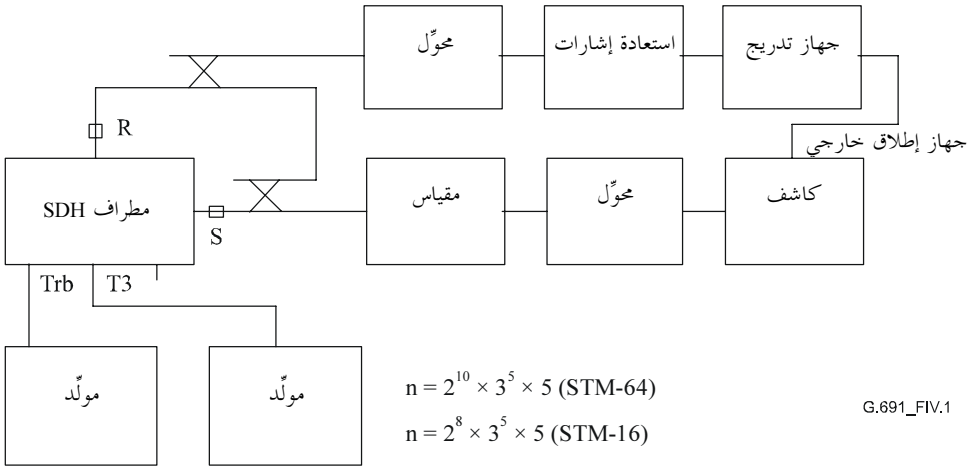
NA: لا يطبق.

التذييل IV
قياس معلمة التشكيل α في الإشارة البصرية المرسلة

تقوم طريقة قياس معلمة التشكيل α على القياس المباشر في المجال الزمني لقدرة الإشارة البصرية المرسلة وانحراف ترددها.

1.IV إجراء القياس

يقوم الإجراء الموصى به لقياس معلمة التشكيل على مقياس تداخل بصري بحزمتين (مثال: مقياس تداخل Michelson أو Mach-Zehnder)، ومحوِّل بصري عريض النطاق وكاشف تذبذب رقمي عريض النطاق (راجع الشكل 1.IV).



الشكل G.691/1.IV – إجراء القياس

المخرج البصري للمرسل الخاضع للاختبار موصول عند النقطة المرجعية S، بمقياس تداخل بحزمتين ضوئيتين. ومخرج قياس التداخل موصول بمحوِّل بصري. ويسجِّل كاشف التذبذب الرقمي عريض النطاق الإشارة الكهربائية عند مخرج المحوِّل. ويتم إطلاق كاشف التذبذب بواسطة إشارة تزامن الرتل المولَّدة بتدريج مسبق لإشارات الميقاتية المستعادة للإشارة البصرية المستقبلة.

ومن أجل الإبقاء على المرسل عاملاً أثناء القياس يتم قرن جزء من الضوء المتجه نحو مقياس التداخل بنفاذ المستقبل البصري لتجهيزات المرسل. وهناك مولِّد معطيات $2^{23}–1$ موصول بالمنافذ الرافدة المتشكلة بالأسلوب العروي.

2.IV المتطلبات التقنية لتجهيزات القياس

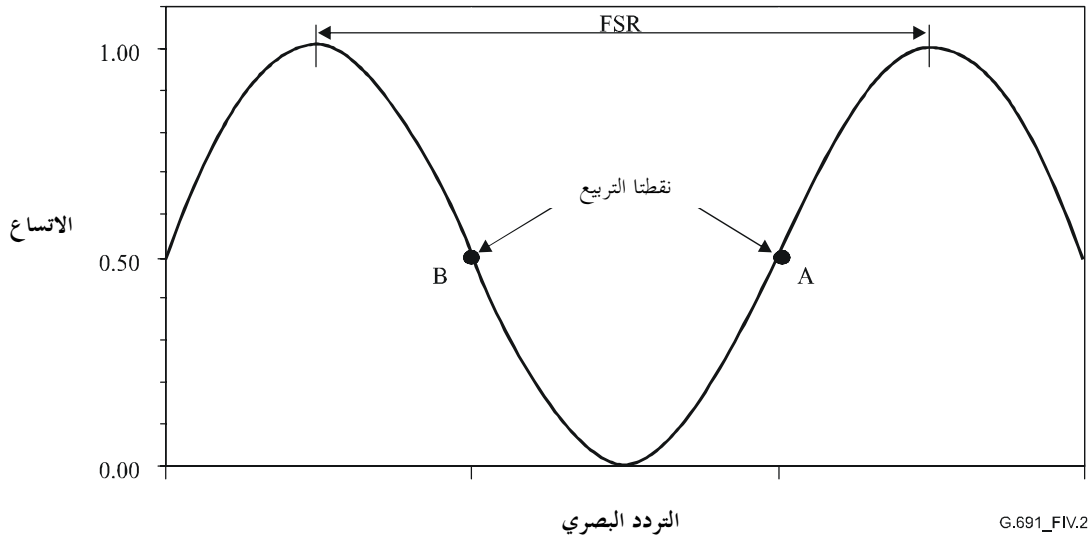
مقياس التداخل ثنائي الحزمة

المدى الطيفي الحر (FSR): يتعين أن يكون أكبر من تشكيل المرسل بأربعة أضعاف.

المرسل

طول موجة التخالف: قابلة للضبط. ينبغي أن يكون المدى أكبر من المدى الطيفي الحر التابع لمقياس التداخل أو مساوياً له.

ويجب أن يزود مقياس التداخل ثنائي الحزمة بدارة تحكُّم تغلقه بوجه إشارة الدخل. ويستحسن أن تتيح دارة التحكم هذه إحكام مقياس التداخل بوجه الإشارة الداخلة عند نقطة التربيع A وكذلك عند نقطة التربيع B (راجع الشكل 2.IV).



الشكل G.691/2.IV – رسم لوظيفة النقل في مقياس التداخل ثنائي الحزمة يشير إلى نقطتي التربيع A وB ويعرّف المدى الطيفي الحر

استجابة التردد المختلط في المحوِّل البصري وكاشف التذبذب

تردد الانقطاع المنخفض عند –3 dB: < 100 kHz

تردد الانقطاع المرتفع عند –3 dB: < 20 GHz

وينبغي أن تبلغ استطاعة تخزين كاشف التذبذب أربعة منحنيات على الأقل وأن يكون قادراً على القيام بوظائف رياضية متطورة في هذه المنحنيات أو أن تكون لديه القدرة على نقل منحنيات المعطيات المقيسة إلى حاسوب بهدف معالجتها معالجة أكثر دقة.

3.IV المعايرة

يتحدد المدى الطيفي الحر لمقياس التداخل بالزمن t_d المتصل بالمسيرين البصريين الموجودين داخل مقياس التداخل:

$$FSR = \frac{1}{t_d}$$

ويمكن قياس الزمن t_d مباشرة بكشف الفرق الزمني لوصول المعطيات من كل حزمة بواسطة كاشف تذبذب أو قياسه بطريقة غير مباشرة بواسطة المسطرة وحساب الفارق. كما يمكن حساب المدى الطيفي الحر بقياس دالة النقل في مقياس التداخل باستعمال محلل مكونات الموجة الضوئية. وينتج أول صفر في دالة النقل بتردد قدره FSR/2.

وتضبط نقطة تربيع مقياس التداخل بحيث تقابل طول موجة الإرسال وذلك بضبط المدى الطيفي الحر بدقة. ويعرف الوضع الصحيح تبعاً لمتوسط قدرة إشارة الإرسال SDH في مقياس التداخل بوصفها دالة تسوية دقيقة للمدى الطيفي الحر. ونقطة التربيع هي المكان الذي يكون فيه متوسط القدرة عبر مقياس التداخل على بعد متساوٍ من المقدرة القصوى من جهة والقدرة الدنيا من جهة أخرى على سلَّم متدرج خطي. وينبغي إغلاق مقياس التداخل أمام إشارة الإرسال في هذا المكان.

4.IV إجراء القياس

1) ترتيب التجهيزات على النحو المبين في الشكل 1.IV. إخضاع الإشارة عند سوية المستقبل لتوهين كافٍ لتجنب زيادة الحمولة.

2) تشكيل الدخل الوافد للمرسل في الأسلوب العروي، ووصل المولد PRBS مع أو منفذ دخل رافد.

3) تزامن المرسل مع الميقاتية المستعادة بتشكيل مصدر التوقيت من أجل الحصول على الإشارة المركبة على شكل T3 (دخل الميقاتية الخارجية).

4) معايرة مقياس التداخل ثنائي الحزم طبقاً لما ورد في الفقرة 3.IV. إحكام مقياس التداخل في نقطة التربيع A.

5) ضبط زمن الانتشار في كاشف التذبذب الرقمي إلى أن تظهر أثمونات تراصف الأرتال A2 A1 لإطناب التراتب SDH في كاشف التذبذب. ثم تسجيل منحني انتقال الأثمون من A1 إلى A2 (من 11110110 إلى 00101000) وتخزين المنحني على أنه $V_A(t)$.

6) إحكام مقياس التداخل في نقطة التربيع B.

7) تخزين منحني المعطيات في كاشف التذبذب على أنه $V_B(t)$.

5.IV معالجة المعطيات

تتحدد معلمة الارتجاج بمجموع القيمتين $V_A(t)$ و$V_B(t)$ والفرق بينهما. وبناء على ذلك، يتحدد المتغيران $V^+(t)$ و$V^-(t)$ كالتالي:

$$V^+(t) = \frac{V_A(t) + V_B(t)}{2}$$

$$V^-(t) = \frac{V_A(t) - V_B(t)}{2}$$

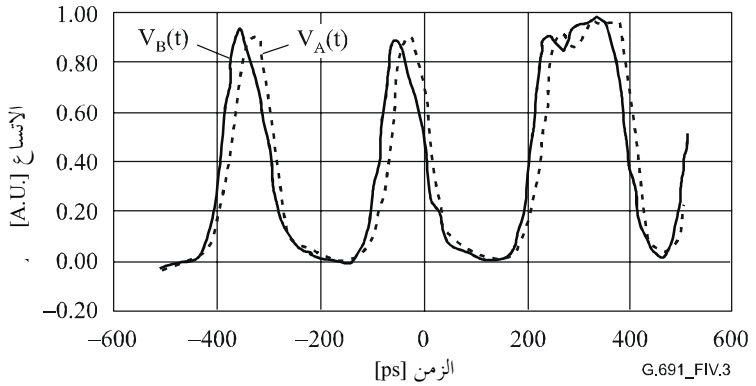
وتتناسب شدة المرسل P(t) المتغيرة بدلالة الزمن، طرداً مع $V^+(t)$. وتحسب معلمة الارتجاج بالمعادلة التالية:

$$\alpha(t) = 2 \times FSR \times \frac{V^+(t) \times \arcsin\dfrac{V^-(t)}{V^+(t)}}{\dfrac{\partial V^+(t)}{\partial t}}$$

ويتم حساب وتمثيل القيمتين P(t) و$\alpha(t)$ في نفس المنحني. وتتحدد معلمة الارتجاج في المرسل بأنها القيمة $\alpha(t)$ المحسوبة في اللحظة التي تكون فيها الشدة P(t) على بعد متساوٍ من السوية التي تمثل رمزي المعطيات "0" و"1".

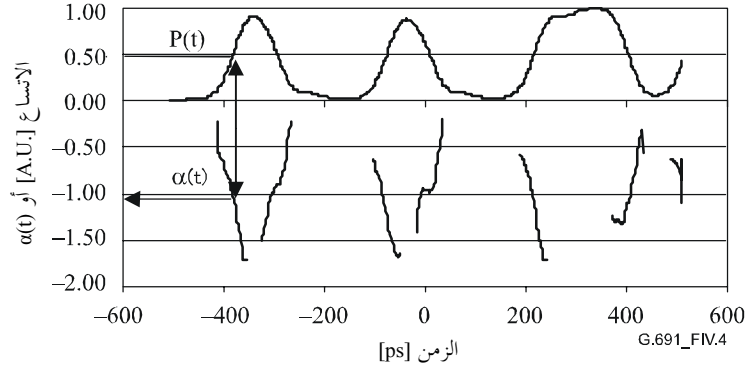
6.IV الأمثلة وتفسير المعطيات

يوضح الشكل 3.IV مثالاً لنتيجة قياس المنحنيين $V_A(t)$ و$V_B(t)$ المقيسين في إشارة PRBS بمعدل 10 Gbit/s.



الشكل G.691/3.IV – رسم لوظيفة النقل في مقياس التداخل ثنائي الحزمة يشير إلى نقطتي التربيع A وB ويعرف المدى الطيفي الحر

يوضح الشكل 4.IV التمثيل البياني لحساب القيمتين P(t) وα(t) كما يرد وصفهما في الفقرة 5.IV.



الشكل G.691/4.IV – التمثيل البياني للقيمتين P(t) وα(t)؛ وتدل الأسهم على كيفية إيجاد معلمة الارتجاج

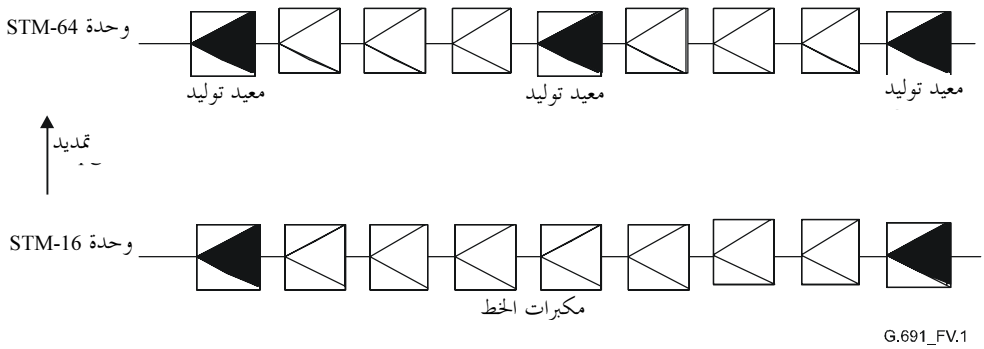
وتحسب معلمة الارتجاج في الحافة الأمامية والحافة الخلفية لنبضات المعطيات. ويوضح الشكل 4.IV تعرف هوية معلمة الارتجاج لأول حافة أمامية للنبضات في المنحني البياني. وتتغير معلمة الارتجاج قليلاً تبعاً لموقع النبضة على المنحني. وينبغي أن تقع معلمتا الارتجاج الدنيا والقصوى في كامل المخطط ضمن الحدود المخصصة للنظام.

وتتطلب طريقة تأثير معلمة الارتجاج على أداء النظام مزيداً من الدراسة. وكذلك الأمر بالنسبة إلى مسألة معرفة ضرورة حساب معلمة الارتجاج في الحافة الأمامية أم الخلفية باعتبارها قيمة متوسطة أم قيمة الحالة الأسوأ.

التذييل V
اعتبارات التطوير

كمثال للتطوير باتجاه بلوغ معدلات أعلى يعطى مثال الانتقال من نظام أحادي القناة بتكبير الخط STM-16 إلى نظام الوحدة STM-64. ويمكن على سبيل المثال، تحسين مسافة إعادة توليد وحدة STM-16 قدرها 640 وتحتوي على سبعة مكبرات خط

بالاستعاضة عن مكبر الخط الواقع في الوسط بمعيد توليد مع الإبقاء على مكبرات الخط الأخرى ومسافتها دون أي تغيير. ويوضح الشكل 1.V هذا التطوير.



الشكل G.691/1.V – مثال تطوير الوحدة STM-16 إلى STM-64

لا تمثل عمليات التطوير من STM-4 إلى STM-16 أي فائدة لأن الأنظمة STM-4 مع مكبرات الخط ليست فعَّالة التكاليف إلاَّ في حال تخفيض تكلفة مكبرات الخط تخفيضاً كبيراً.

سلاسل التوصيات الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات

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

طُبعت في سويسرا

جنيف، 2006