الاتحـــــــاد الدولـــــــي للاتصـــــــالات

ITU-T G.654

(2006/12)

قطـــاع تقييس الاتصـــالات
في الاتحاد الدولي للاتصالات

السلسلة G: أنظمة الإرسال ووسائطه والأنظمة والشبكات الرقمية

خصائص وسائط الإرسال – كبلات الألياف البصرية

خصائص الكبلات والألياف البصرية أحادية الأسلوب وذات القطع المزحزح

التوصيـــة ITU-T G.654

الاتحاد الدولي للاتصالات

توصيات السلسلة G الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات

أنظمة الإرسال ووسائطه والأنظمة والشبكات الرقمية

التوصيلات والدارات الهاتفية الدولية	G.199 – G.100
الخصائص العامة المشتركة لكل الأنظمة التماثلية بموجات حاملة	G.299 – G.200
الخصائص الفردية للأنظمة الهاتفية الدولية بموجات حاملة على خطوط معدنية	G.399 – G.300
الخصائص العامة للأنظمة الهاتفية الدولية اللاسلكية أو الساتلية والتوصيل البيني مع الأنظمة على خطوط معدنية	G.449 – G.400
تنسيق المهاتفة الراديوية والمهاتفة السلكية	G.499 – G.450
خصائص وسائط الإرسال والأنظمة البصرية	G.699 – G.600
اعتبارات عامة	G.609 – G.600
أزواج كبلات متناظرة	G.619 – G.610
أزواج الكبلات البرية متحدة المحور	G.629 – G.620
الكبلات البحرية	G.639 – G.630
الأنظمة البصرية في الفضاء الحر	G.649 – G.640
كبلات الألياف البصرية	**G.659 – G.650**
خصائص المكونات والأنظمة الفرعية البصرية	G.679 – G.660
خصائص الأنظمة البصرية	G.699 – G.680
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 العامة والجوانب المتعلقة بالمستعمل	G.1999 – G.1000
خصائص وسائط الإرسال	G.6999 – G.6000
البيانات عبر طبقة النقل – الجوانب العامة	G.7999 – G.7000
جوانب الرزم عبر طبقة النقل	G.8999 – G.8000
شبكات النفاذ	G.9999 – G.9000

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

التوصية ITU-T G.654

خصائص الكبلات والألياف البصرية أحادية الأسلوب وذات القطع المزحزح

ملخص

تتناول هذه التوصية الخصائص الهندسية والميكانيكية وخصائص إرسال الكبلات والألياف البصرية أحادية الأسلوب التي يبلغ طول موجة التشتت المعدوم فيها نحو 1 300 nm، وهو طول الموجة الذي يغلل الفاقد إلى أقصى حد ممكن، وذات القطع المزحزح عند طول الموجة البالغ نحو 1 550 nm. وهذا آخر تصميم للتوصية التي أعدت أولاً في عام 1988. ويغيّر هذا التنقيح ترميز التشتت بأسلوب الاستقطاب PMD لجعله منسقاً مع الترميز الوارد في التوصية ITU-T G.652. والقصد من هذا التنقيح هو مواصلة النجاح التجاري المستمر لهذه الألياف في العالم الأخذ في التطور لأنظمة الإرسال البصرية العالية الأداء.

المصدر

وافقت لجنة الدراسات 15 (2005-2008) لقطاع تقييس الاتصالات بتاريخ 14 ديسمبر 2006 على التوصية ITU-T G.654 بموجب الإجراء المحدد في التوصية ITU-T A.8.

التاريخ

الطبعة	التوصية	تاريخ الموافقة
1.0	G.654	1988-11-25
2.0	G.654	1993-03-12
3.0	G.654	1997-04-08
4.0	G.654	2000-10-06
5.0	G.654	2002-06-29
6.0	G.654	2004-06-13
7.0	G.654	2006-12-14

انظر التفاصيل في الصفحة 14

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 2009

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 نطاق التطبيق 1
2 المراجع 1
1.2 المراجع المعيارية 1
2.2 المراجع الإعلامية 2
3 المصطلحات والتعاريف 2
4 المختصرات 2
5 نعوت الألياف 2
1.5 قطر مجال الأسلوب 3
2.5 قطر الغمد 3
3.5 خطأ مركزة اللب 3
4.5 اللادائرية 3
5.5 طول موجة القطع 3
6.5 خسارة الانحناء الكلي 4
7.5 خصائص مواد الألياف 4
8.5 الملامح الرئيسية لمؤشر الانكسار 5
9.5 الانتظام الطولي للتشتت اللوني 5
10.5 معامل التشتت اللوني 5
6 نعوت الكبلات 5
1.6 معامل التوهين 5
2.6 معامل التشتت بأسلوب الاستقطاب 6
7 جدول القيم الموصى بها 6
التذييل I – معلومات عن نعوت الوصلات وتصميم الأنظمة 10
1.I التوهين 10
2.I التشتت اللوني 10
3.I زمن الانتشار التفاضلي لمجموعة الترددات (DGD) 11
4.I المعامل غير الخطي 11
5.I جداول القيم النمطية الشائعة 11
بيبليوغرافيا 13
تاريخ التوصية ITU-T G.654 14

خصائص الكبلات والألياف البصرية أحادية الأسلوب وذات القطع المزحزح

1 نطاق التطبيق

تصف هذه التوصية الألياف البصرية أحادية الأسلوب التي يبلغ طول موجة التشتت الصفري فيها نحو 1 300 nm وهو طول الموجة الذي يقلل الفاقد إلى أقصى حد ممكن، والألياف البصرية أحادية الأسلوب وذات القطع المزحزح عند طول الموجة البالغ نحو 1 550 nm والتي تعد مثالية في الاستخدام في نطاق 1 530-1 625 nm.

ويمكن استخدام هذه الألياف شديدة الانخفاض في إحداث الفاقد وذات قطع مزحزح في استخدامات الإرسال الرقمي لمسافات طويلة مثل أنظمة الخطوط الأرضية طويلة المسافة، وأنظمة كبلات الغواصات التي تستخدم المكبرات البصرية. ويرد فيما يلي وصف للخصائص الهندسية والبصرية (التوهين، وطول موجة القطع والتشتت اللوني والتشتت بأسلوب الاستقطاب وغير ذلك) والميكانيكية وخصائص الإرسال الخاصة بهذه الألياف المزحزحة القطع.

وقد أدرجت بعض الترتيبات لمساندة الإرسال على أطوال الموجات العالية حتى 1 625 nm. ويرد فيما يلي وصف للمعلمات الهندسية والبصرية والميكانيكية ومعلمات الإرسال طبقاً لفئات ثلاث:

- نعوت الألياف التي يحتفظ بها طوال فترة عملية التكبيل والتركيب؛
- نعوت الكبلات الموصى بها للكبلات عند تسليمها؛
- نعوت الوصلات التي تتميز بها الكبلات المتسلسلة، التي تصف طرائق تقدير معلمات السطح البيني للنظام استناداً إلى القياسات أو النمذجة أو غير ذلك من الاعتبارات. ويتضمن التذييل I معلومات عن خصائص الوصلات وتصميم الأنظمة.

والقصد من هذه التوصية وفئات الأداء المختلفة المبينة في جداول الفقرة 7 هو دعم التوصيات التالية المتعلقة بالنظام:

- التوصية ITU-T G.957؛
- التوصية ITU-T G.691؛
- التوصية ITU-T G.692؛
- التوصية ITU-T G.959.1؛
- التوصية ITU-T G.973؛
- التوصية ITU-T G.977؛

وتتضمن التوصيتان G.650.1 وG.650.2 الصادرتان عن قطاع تقييس الاتصالات المصطلحات المستخدمة في هذه التوصية والخطوط التوجيهية التي ينبغي اتباعها في القياسات الرامية إلى التحقق من مختلف الخصائص. وسوف يجري تنقيح خصائص هذا الليف، بما في ذلك تعاريف المعلمات ذات الصلة وطرائق اختبارها والقيم المتصلة بها مع تقدم الدراسات واكتساب الخبرات.

2 المراجع

1.2 المراجع المعيارية

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، يرجى من جميع المستعملين لهذه التوصية السعي إلى تطبيق أحدث طبعة للتوصيات والمراجع الأخرى الواردة أدناه. وتُنشر بانتظام قائمة توصيات قطاع تقييس الاتصالات السارية الصلاحية. والإشارة إلى وثيقة ما في هذه التوصية لا يضفي على الوثيقة في حد ذاتها صفة التوصية.

- التوصية ITU-T G.650.1 (2004)، *تعاريف وطرائق اختبار النعوت الخطية المحددة للألياف والكبلات أحادية الأسلوب.*
- التوصية ITU-T G.650.2 (2005)، *تعاريف وطرائق اختبار النعوت الإحصائية والنعوت غير الخطية المتعلقة بها للألياف والكبلات أحادية الأسلوب.*

2.2 المراجع الإعلامية

- التوصية ITU-T G.663 (2000)، *جوانب تتعلق بتطبيقات الأنظمة الفرعية والمكبرات البصرية.*
- التوصية ITU-T G.691 (2006)، *السطوح البينية البصرية للأنظمة STM-64 وأنظمة التراتب الرقمي المتزامن الأخرى ذات المكبرات البصرية.*
- التوصية ITU-T G.692 (1998)، *السطوح البينية البصرية للأنظمة متعددة القنوات ذات المكبرات البصرية.*
- التوصية ITU-T G.957 (2006)، *السطوح البينية البصرية للمعدات والأنظمة المتعلقة بالتراتب الرقمي المتزامن.*
- *التوصية* ITU-T G.959.1 (2006)، *السطوح البينية البصرية للطبقة المادية لشبكات النقل.*
- التوصية ITU-T G.973 (2003)، *خصائص أنظمة الكبلات البحرية بالألياف البصرية دون مكررات.*
- التوصية ITU-T G.977 (2006)، *خصائص أنظمة الكبلات البحرية البصرية مع تكبير بصري.*

3 المصطلحات والتعاريف

لأغراض هذه التوصية، تنطبق التعاريف الواردة في التوصيتين G.650.1 وG.650.2 الصادرتين عن قطاع تقييس الاتصالات.

وينبغي تدوير القيم إلى عدد الأرقام الواردة في جدول القيم الموصى بها قبل تقييم التطابق.

4 المختصرات

تستخدم هذه التوصية المختصرات التالية:

CSF ألياف ذات القطع المزحزح (*cut-off shifted fibre*)

DGD زمن الانتشار التفاضلي لمجموعة الترددات (*differential group delay*)

DWDM تعدد الإرسال بتقاسم مكثف لطول الموجات (*dense wavelength division multiplexing*)

MFD قطر مجال الأسلوب (*mode field diameter*)

PMD التشتت بأسلوب الاستقطاب (*polarization mode dispersion*)

PMD_Q المعلمة الإحصائية للتشتت بأسلوب الاستقطاب على الوصلة (*statistical parameter for PMD link*)

RTM طريقة الاختبار المرجعي (*reference test method*)

TBD تحدد فيما بعد (*to be determined*)

WDM تعدد الإرسال بتقاسم طول الموجات (*wavelength division multiplexing*)

5 نعوت الألياف

لا يوصى هنا إلا بخصائص الألياف التي توفر أدنى حد لإطار التصميم الأساسي لصانعي الألياف. وترد النطاقات أو الحدود الخاصة بالقيم المبينة في الجداول الواردة في الفقرة 7. ومن بين هذه الخصائص أن صنع الكبلات أو تركيبها قد يتأثر تأثراً كبيراً بطول موجة القطع والتشتت بأسلوب الاستقطاب. وغير ذلك، سوف تسري ذات الخصائص الموصى بها على الألياف الفردية والألياف المدمجة في كبل ملفوف على طبلة (أسطوانة) والألياف الموجودة في كبل تم تركيبه.

1.5 قطر مجال الأسلوب

يتم تحديد كل من القيمة الاسمية والتفاوت المسموح به فيما يتعلق بقطر مجال الأسلوب عند 1 550 nm وستكون القيم الاسمية لهذا القطر في حدود النطاق المبين في الفقرة 7. وينبغي ألا يتجاوز التفاوت المسموح به للقطر القيمة المبينة في الفقرة 7. وينبغي ألا يتجاوز الانحراف عن القيمة الاسمية التفاوت المسموح به المبين.

2.5 قطر الغمد

تبلغ القيمة الاسمية الموصى بها لقطر الغمد 125 µm.

ويجري تحديد التفاوت المسموح به أيضاً وينبغي ألا تجاوز القيمة المبينة في الفقرة 7. وينبغي لانحراف الغمد بالنسبة للقيمة الاسمية ألا يجاوز التفاوت المسموح به المبين.

3.5 خطأ مركزة اللب

ينبغي ألا يتجاوز خطأ مركزة اللب القيمة المبينة في الفقرة 7.

4.5 اللادائرية

1.4.5 لا دائرية مجال الأسلوب

يبدو من الناحية العملية أن لا دائرية مجال أسلوب الألياف التي لديها مجالات أسلوب دائرية اسمياً ضعيفة مما يحول دون تأثير الانتشار والتوصيل. ومن ثم، فإن التوصية بقيمة معينة للادائرية مجال الأسلوب غير ضرورية. وليس من الضروري عادة قياس لا دائرية مجال الأسلوب لأغراض القبول.

2.4.5 لا دائرية الغمد

ينبغي ألا تتجاوز لا دائرية الغمد القيمة المحددة في الفقرة 7.

5.5 طول موجة القطع

يمكن التمييز بين ثلاثة أنماط مفيدة لطول موجة القطع:

أ) طول موجة القطع الخاصة للكبل λ_{cc}؛

ب) طول موجة القطع الخاصة لليف λ_c؛

ج) طول موجة القطع الخاصة لكبل العبور λ_{cj}؛

الملاحظة 1 – قد تكون قيم أخرى لطول موجة القطع ضرورية لبعض التطبيقات الخاصة المتعلقة بالكبلات البحرية.

يعتمد ترابط القيم المقيسة للأنماط λ_c وλ_{cc} وλ_{cj} على الليف وتصميم الكبل وظروف الاختبار. علماً بأن من الصعب عامة إنشاء علاقة كمية نظراً لكون $\lambda_c > \lambda_{cj} > \lambda_{cc}$.

ويكتسي تأمين إرسال أحادي الأسلوب عبر طول الكبل الأدنى بين التوصيلات البينية عند طول موجة التشغيل الأدنى أهمية كبيرة. ويمكن أداء ذلك عن طريقتين مختلفتين:

1) التوصية بأن يكون طول موجة القطع الأقصى للكبل λ_c لليف أقل من 1 600 nm: عندما يكون الحد الأضعف ملائماً، فينبغي أن يكون الطول λ_c أكبر من 1 350 nm؛

2) التوصية بأن تكون القيمة القصوى لطول موجة القطع الخاصة بالليف λ_{cc} مساوية لنسبة تبلغ 1 530 nm.

الملاحظة 2 – تتضمن القيم المشار إليها أعلاه أن يكون الإرسال أحادي الأسلوب عند نحو 1 550 nm. أما بالنسبة لتطبيقات تعدد الإرسال بتقاسم طول الموجات التي تتطلب التشغيل عند طول موجة تبلغ (x-nm 1 550) فينبغي خفض القيم أعلاه بمقدار x nm.

وهناك مواصفتان لا يتعين تنفيذهما. فنظراً لأن مواصفة λ_{cc} تعتبر وسيلة أكبر مباشرة في ضمان تشغيل الكبل أحادي الأسلوب، فإنها الخيار المفضل. وعندما لا تسمح الظروف بسهولة بمواصفة λ_{cc} (مثل في الكبلات البصرية أحادية الأسلوب مثل كبلات الربط أو الكبلات التي ستنشر بطريقة مختلفة بدرجة كبيرة عما في λ_{cc}، طريقة الاختبار المرجعي) عندئذ تكون مواصفة λ_c ملائمة.

وعندما يختار المستعمل تحديد λ_{cc} كما هو الحال في 2)، يكون من المفهوم أن λ_c قد تتجاوز 1 600 nm.

وعندما يختار المستعمل تحديد λ_c كما هو الحال في 1)، لا يتعين عندئذ تحديد λ_{cc}.

وفي حالة اختار المستعمل تحديد λ_{cc}، قد يُسمح بأن تكون λ_c أعلى من طول الموجة العاملة الدنيا اعتماداً على تأثيرات صنع الكبل وتركيبه لإنتاج قيم λ_{cc} دون طول الموجة العاملة الدنيا لأقصر طول للكبل بين وصلتين.

وفي حالة اختار المستعمل تحديد λ_{cc}، قد يكفي اختبار تأهيل للتحقق من استيفاء متطلبات λ_{cc}.

ولا يتجاوز طول موجة قطع الكبل λ_{cc} الحد الأقصى المحدد في الفقرة 7.

6.5 خسارة الانحناء الكلي

تتباين خسارة الانحناء الكلي مع تباين طول الموجة، ونصف قطر الانحناء وعدد الدورات حول اسطوانة بنصف قطر معين. وينبغي ألا تتجاوز خسارة الانحناء الكلي الحد الأقصى الوارد في الفقرة 7 بالنسبة لطول الموجة أو أطوال الموجات المعينة، ونصف قطر الانحناء المعين وعدد الدورات المحددة.

الملاحظة 1 – قد يكون اختبار التأهيل كافياً لضمان استيفاء هذا الشرط؛

الملاحظة 2 – يناظر العدد الموصى به للدورات العدد التقريبي للدورات في جميع خانات الجدالات لمدى مكرّر نمطي. ويعطي نصف القطر الموصى به نصف قطر الانحناء الأدنى المقبول عادة لتركيب الألياف على المدى الطويل في منشآت الأنظمة الحقيقية من أجل تفادي الأعطال الناجمة عن الكلال المستقر.

الملاحظة 3 – إذا استدعت الأسباب العملية انتقاء دورات يقل عددها عن الدورات الموصى بها لتنفيذ هذا الاختبار، يقترح استخدام 40 دورة كحد أدنى واستخدام قيمة خسارة أكثر ضعفاً بالتناسب مع عدد اللولبات (في الخط الحلزوني).

الملاحظة 4 – تنطبق التوصية المتصلة بخسارة الانحناء على استعمال الألياف في المنشآت بألياف أحادية الأسلوب. ويرد تأثير أنصاف أقطار الانحناء المستعملة في تكبيل الألياف أحادية الأسلوب على خسارة الانحناء، في المواصفة المتعلقة بخسارة انحناء الألياف المكبلة.

الملاحظة 5 – في حالة ضرورة القيام باختبارات رتيبة، يمكن استعمال عروة قطر أصغر تتضمن لفة واحدة أو أكثر بدلاً من الاختبار الموصى به، وذلك من أجل الدقة وسهولة القياس. وفي هذه الحالة، ينبغي اختيار قطر العروة وعدد اللفات وخسارة الانحناء القصوى المسموح بها من أجل إجراء الاختبار على لفات متعددة، بهدف الترابط مع الاختبار الموصى به والخسارة المسموح به.

7.5 خصائص مواد الألياف

1.7.5 مواد الألياف

ينبغي الإشارة إلى المواد التي تصنع منها الألياف.

ملاحظة – ينبغي مراعاة الحذر عند صهر الألياف لأغراض التوصيل عندما تكون هذه الألياف مصنوعة من مواد مختلفة وتشير النتائج الأولية إلى أن توصيل ألياف مختلفة تحتوي على السليكا ذات النوعية العالية يمكن أن يساعد في الحصول على قيم مرضية فيما يتعلق بالخسارة والمتانة.

2.7.5 مواد الحماية

ينبغي الإشارة إلى الخاصيات الفيزيائية والكيميائية للمواد المستعملة للكساء الأولي لليف وإلى أفضل طريقة لإزالته (إذا دعت الحاجة). وينبغي كذلك تقديم نفس المعلومات في حالة الألياف وحيدة الغلاف.

3.7.5 سوية إجهاد الصمود

يجب ألاّ يقل إجهاد الصمود المحدد σ_p عن الحد الأدنى الوارد في الفقرة 7.

ملاحظة – ترد التعاريف المتعلقة بالمعلمات الميكانيكية في الفقرتين 2.3 و6.5 من التوصية G.650.1.

8.5 الملامح الرئيسية لمؤشر الانكسار

ليس هناك في العادة حاجة إلى معرفة ملامح مؤشر الانكسار فيما يتعلق بالألياف.

9.5 الانتظام الطولي للتشتت اللوني

قيد الدراسة.

ملاحظة – قد تختلف القيمة المطلقة المحلية لمعامل التشتت اللوني عند طول موجة معين عن القيمة المقيسة على طول كبير. وإذا انخفضت هذه القيمة بشكل كبير إلى قيمة صغيرة عند طول موجة قريب من طول موجة التشغيل ضمن نظام تعدد الإرسال بتقاسم طول الموجات (DWDM)، قد يؤدي خلط أربع موجات إلى انتشار القدرة على أطول موجات أخرى، بما في ذلك أطوال موجات التشغيل الأخرى دون أن يقتصر على هذه الأطوال. ويعتبر اتساع قدرة الخلط للموجات الأربع دالة للقيمة المطلقة لمعامل التشتت اللوني، ومنحني التشتت اللوني وأطوال موجات التشغيل، والقدرة البصرية، والمسافة التي يحدث عليها خلط الموجات الأربع.

أما بالنسبة لعمليات نظام تعدد الإرسال بتقاسم طول الموجات في نطاق 1 550 nm، فإن التشتت اللوني للألياف G.654 كبير بما يحول دون خلط الموجات الأربع. ولذا فإن انتظام التشتت اللوني لا يشكل مسألة وظيفية.

10.5 معامل التشتت اللوني

يعبر عن زمن انتشار مجموعة الترددات المقيس أو التشتت اللوني لطول ألياف الوحدة مقابل طول الموجة على أساس المعادلة التربيعية. على النحو المحدد في الملحق G.650.1/A (انظر الفقرة G.650.1/5.5 للحصول على إرشادات بشأن الاستكمال الداخلي لقيم التشتت لأطوال موجات غير مقيسة).

واعتماداً على متطلبات الدقة بالنسبة لمديات أطوال الموجيات التي تصل إلى 35 nm، فإن المعادلة التربيعية مسموح بها في النطاق 1 550 nm. وبالنسبة لمديات أطوال موجة أطول باستعمال النموذج Sellmeier أو النموذج المتعدد الحدود الرابع. ومن غير المقصود استخدامها في نطاق 1 310 nm.

ملاحظة – ومن الضروري قياس معامل التشتت اللوني على أساس روتيني.

6 نعوت الكبلات

نظراً لأن الخصائص الهندسية والبصرية الخاصة للألياف الواردة في الفقرة 5 تكاد لا تتأثر بعملية التكبيل، فإن هذه الفقرة ستقدم توصيات تتصل بالدرجة الأولى بخصائص الإرسال في أطوال صنع الكبل.

وتكتسي الظروف البيئية وتلك الخاصة بالاختبارات أهمية قصوى، ويرد وصف لها في المبادئ التوجيهية الخاصة بطرائق الاختبار.

1.6 معامل التوهين

يحدد معامل التوهين بقيمة قصوى عند طول أو أكثر من أطوال الموجات في منطقة 1 530-1 625 nm. وينبغي ألا تتجاوز قيم معامل توهين كبلات الألياف البصرية القيم الواردة في الفقرة 7.

الملاحظة 1 – تتوقف القيم الأقل انخفاضاً على عملية التصنيع ومكونات الألياف وتصميمها وتصميم الكبلات. وقد تم تحقيق القيم من 0,15 إلى 0,19 dB/km في المنطقة 1 550 nm.

الملاحظة 2 – ويمكن حساب معامل التوهين عبر أطوال موجة الطيف بالاستناد إلى قياسات عدد قليل من أطوال موجات المتنبئ (3 إلى 4). ويرد وصف لهذا الإجراء في الفقرة G.650.1/4.4.5 كما ترد في التذييل G.650.1/III مثال على الليفة G.652.

الملاحظة 3 – بالنسبة لتطبيقات أنظمة الغواصات ذات المكبرات البصرية التي تضخ عن بعد الموصوفة في التوصية ITU-T G.973، قد تلزم معاملات توهين أخرى في نطاق طول موجة الضخ.

2.6 معامل التشتت بأسلوب الاستقطاب (PMD)

سيحدد التشتت بأسلوب استقطاب الألياف المكبلة على أساس إحصائي وليس على أساس الألياف الفردية. فالاشتراطات تتعلق بجانب الوصلة التي جرى حسابها من معلومات الكبلات. وترد أدناه وحدات قياس المواصفات الإحصائية. وترد طرق الحساب في الوثيقة IEC 61282-3 الصادرة عن اللجنة الكهرتقنية الدولية ويرد موجز لها في التذييل G.650.2/IV.

ويجب على الصانع أن يقدم قيمة لتصميم وصلة التشتت بأسلوب الاستقطاب PMD_Q التي تستخدم في شكل الحدود العليا الثابتة لمعامل التشتت بأسلوب الاستقطاب الخاص بكبلات الألياف البصرية المتسلسلة داخل وصلة محتملة محددة من أقسام الكبلات M. وتحدد الحدود العليا لمستوى الاحتمالية الضعيفة Q التي هي احتمالية أن تتجاوز قيمة معامل التشتت بأسلوب الاستقطاب المتسلسل قيمة احتمالية التشتت بأسلوب الاستقطاب (PMD_Q). أما بالنسبة لقيم M وQ المبينة في الفقرة 7، فإن قيمة PMD_Q ينبغي ألا تتجاوز الحد الأقصى لمعامل التشتت بأسلوب الاستقطاب المبين في تلك الفقرة.

والقياسات والمواصفات الخاصة بالألياف غير المكبلة ضرورية ولكنها غير كافية لتوفير مواصفة الألياف المكبلة. وينبغي أن تكون أقصى قيمة لتصميم الوصلة المخصصة للألياف غير المكبلة أقل من القيمة المناظرة المخصصة للألياف المكبلة أو مساوية لها. والنسبة بين القيم PMD لليف غير مكبل والقيم المناظرة لليف مكبل تخضع لتفاصيل الخصائص المتعلقة بالتصنيع ومعالجة الكبلات، وكذلك لشروط اقتران الليف غير المكبل. وتوصي التوصية ITU-T G.650.2 باستعمال اقتران ضعيف للأساليب التي تتطلب جهداً ضعيفاً للف على بكرة ذات نصف قطر كبير من أجل إجراء قياسات القيم PMD في الألياف غير المكبلة.

ويمكن تفسير الحدود المفروضة على توزيع قيم معامل التشتت بأسلوب الاستقطاب على أساس أنها معادلة تقريباً للحدود القصوى على التباين الإحصائي لزمن الانتشار التفاضلي لمجموعة الترددات (DGD) والذي يتباين بصورة عشوائية مع الوقت وطول الموجة. وعندما يتم تحديد توزيع معاملات التشتت بأسلوب الاستقطاب لأغراض كبلات الألياف البصرية، يمكن تحديد الحدود المعادلة للتباين في زمن الانتشار التفاضلي لمجموعة الترددات. ويتضمن التذييل I قياسات وقيم حدود توزيع زمن الانتشار التفاضلي لمجموعة الترددات فيما يتعلق بالوصلات.

الملاحظة 1 – ينبغي حساب قيمة PMD_Q بالنسبة إلى مختلف أنواع الكبلات وينبغي حسابها عادةً باستخدام عينات من قيم PMD. وينبغي اختيار العينات من كبلات متماثلة من حيث الصنع.

الملاحظة 2 – ينبغي عدم تطبيق مواصفات PMD_Q على كبلات قصيرة مثل كبلات الربط والكبلات الداخلية والكبلات المتفرعة.

7 جدول القيم الموصى بها

يوجز الجدولان التاليان القيم الموصى بها لعدد من فئات الألياف التي تلبي أهداف هذه التوصية ويجري إلى حد كبير التمييز بين هذه الفئات على أساس متطلبات أسلوب نصف قطر المجال، ومعاملة التشتت اللوني، وPMD. انظر التذييل I للحصول على معلومات عن مسافات الإرسال ومعدلات البايتات المتعلقة بمتطلبات التشتت بأسلوب الاستقطاب (PMD).

والجدير بالذكر أن النعوت الواردة في الجدول 1، G.654.A هي فئة الأساس، الخاصة بالكبلات والألياف البصرية أحادية أسلوب القطع المزحزح. وهذه الفئة مناسبة للنظام الوارد في التوصيات G.691 وG.692 وG.957 وG.977 الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات في منطقة طول الموجة 550 nm 1.

والنوط الواردة في الجدول 2، G.654.B مناسبة للنظام الموصوف في التطبيقات بعيدة المدى في منطقة طول الموجة البالغ 550 nm 1 الواردة في التوصيات ITU-T G.691، وITU-T G.692، وITU-T G.957، وITU-T G.977، وITU-T G.959.1. ويمكن تطبيق هذه الفئة على أنظمة إرسال وتعدد الإرسال بتقسيم طول الموجة WDM ذات المسافات الأطول والقدرات الأكبر، على سبيل المثال أنظمة الغواصات غير التكرارية ذات المكبرات المسارية التي تضخ عن بعد الموصوفة في التوصية ITU-T G.973، وأنظمة الغواصات ذات المكبرات البصرية الموصوفة في التوصية ITU-T G.977.

والنوط G.654.C الواردة في الجدول 3 مماثلة للنوط الواردة في G.654.A لكن انخفاض متطلبات التشتت بأسلوب الاستقطاب يوفر معدلات بيتات أعلى وتطبيقات بعيدة المدى واردة في التوصية ITU-T G.959.1.

الجدول G.654.A - G.654/1

نعوت الألياف		
النعت	**التفصيل**	**القيمة**
قطر مجال الأسلوب	طول الموجة	1 550 nm
	مدى القيم الاسمية	9,5–10,5 µm
	مدى التسامح	±0,7 µm
قطر الغمد	القيم الاسمية	125 µm
	مدى التسامح	± 1 µm
خطأ مركزة اللب	الحد الأقصى	±0,8 µm
لا دائرية الغمد	الحد الأقصى	2,0%
طول موجة القطع للكبل	الحد الأقصى	1 530 nm
خسارة الانحناء الكلي	نصف القطر	30 mm
	عدد الدورات	100
	الحد الأقصى عند 1 625 nm	0,50 dB
إجهاد الصمود	الحد الأدنى	0,69 GPa
معامل التشتت اللوني	$D_{1550max}$	20 ps/nm · km
	$S_{1550max}$	0,070 $ps/nm^2 \cdot km$
معامل التشتت بأسلوب الاستقطاب لليف غير المكبل	الحد الأقصى	انظر الملاحظة
نعوت الكبلات		
معامل التوهين	الحد الأقصى عند 1 550 nm	0,22 dB/km
معامل التشتت بأسلوب الاستقطاب	M	20 كبلاً
	Q	0,01%
	الحد الأقصى PMD_Q	0,5 ps/√km
ملاحظة – يمكن وفقاً لما ورد في الفقرة 2.6 تعيين حد أقصى لقيمة معامل التشتت بأسلوب الاستقطاب على ليفة غير مكبلة لدعم الاشتراط الأولي على كبل PMD_Q.		

الجدول G.654.B - G.654/2

نعوت الألياف		
النعت	**التفصيل**	**القيمة**
قطر مجال الأسلوب	طول الموجة	nm 1 550
	مدى القيم الاسمية	µm 13,0–9,5
	مدى التسامح	µm 0,7±
قطر الغمد	القيم الاسمية	µm 125
	مدى التسامح	µm 1±
خطأ مركزة اللب	الحد الأقصى	µm 0,8±
لا دائرية الغمد	الحد الأقصى	%2,0
طول موجة القطع للكبل	الحد الأقصى	nm 1 530
خسارة الانحناء الكلي	نصف القطر	mm 30
	عدد الدورات	100
	الحد الأقصى عند nm 1 550	dB 0,50
إجهاد الصمود	الحد الأدنى	GPa 0,69
معامل التشتت اللوني	$D_{1550max}$	$ps/nm \cdot km$ 22
	$S_{1550max}$	$ps/nm^2 \cdot km$ 0,070
معامل التشتت بأسلوب الاستقطاب لليف غير المكبل	الحد الأقصى	انظر الملاحظة
نعوت الكبلات		
معامل التوهين	الحد الأقصى عند nm 1 550	dB/ km 0,22
معامل التشتت بأسلوب الاستقطاب	M	20 كبلاً
	Q	%0,01
	الحد الأقصى PMD_Q	$ps/\sqrt{km}$ 0,20
ملاحظة – وفقاً لما ورد في الفقرة 2.6 تعين حد أقصى لقيمة معامل التشتت بأسلوب الاستقطاب على ليفة غير مكبلة لدعم الاشتراط الأولي على كبل PMD_Q.		

الجدول G.654/3 - G.654.C

نعوت الألياف		
النعت	**التفصيل**	**القيمة**
قطر مجال الأسلوب	طول الموجة	nm 1 550
	مدى القيم الاسمية	µm 10,5–9,5
	مدى التسامح	µm 0,7±
قطر الغمد	القيم الاسمية	µm 125
	مدى التسامح	µm 1 ±
خطأ مركزة اللب	الحد الأقصى	µm 0,8±
لا دائرية الغمد	الحد الأقصى	%2,0
طول موجة القطع للكبل	الحد الأقصى	nm 1 530
خسارة الانحناء الكلي	نصف القطر	mm 30
	عدد الدورات	100
	الحد الأقصى عند nm 1 625	dB 0,50
إجهاد الصمود	الحد الأدنى	GPa 0,69
معامل التشتت اللوني	$D_{1550max}$	ps/nm · km 20
	$S_{1550max}$	$ps/nm^2 \cdot km$ 0,070
معامل التشتت بأسلوب الاستقطاب لليف غير المكبل	الحد الأقصى	انظر الملاحظة
نعوت الكبلات		
معامل التوهين	الحد الأقصى عند nm 1 550	dB/ km 0,22
معامل التشتت بأسلوب الاستقطاب	M	20 كبلاً
	Q	%0,01
	الحد الأقصى PMD_Q	ps/√km 0,20
ملاحظة – يمكن وفقاً لما ورد في الفقرة 6.2 تعيين حد أقصى لقيمة معامل التشتت بأسلوب الاستقطاب على ليفة غير مكبلة لدعم الاشتراط الأولي على كبل PMD_Q.		

التذييل I

معلومات عن نعوت الوصلات وتصميم الأنظمة

تشمل الوصلة المتسلسلة عادة عدداً من أطوال التصنيع المجدول في كبلات الألياف البصرية. وتتضمن الفقرتان 5 و6 اشتراطات أطوال التصنيع. ويتعين أن تراعي معلمات الإرسال الخاصة بالوصلات المتسلسلة أداء أطوال الكبلات الفردية بالإضافة إلى إحصاءات التسلسل.

وسوف يكون لخصائص إرسال طول تصنيع كبلات الألياف البصرية بعض احتمالات التوزيع التي تحتاج في كثير من الأحيان إلى أن تؤخذ بعين الاعتبار حتى يمكن الحصول على معظم التصميمات الاقتصادية. وينبغي قراءة الفقرات التالية دون أن يغيب عن البال هذا الطابع الإحصائي لمختلف المعلمات.

وتتأثر نعوت الوصلات بعوامل أخرى غير كبلات الألياف البصرية وبعض الأمور مثل الجدولة والواصلات والتركيب. ولا يمكن تحديد هذه العوامل في هذه التوصية. ولأغراض تقدير قيم نعوت الوصلات، قدمت قيم نمطية لوصلات الألياف البصرية في 5.I. وتستند طرق تقدير المعلمات اللازمة لتصميم الأنظمة إلى القياسات والنمذجة أو غير ذلك من الاعتبارات.

1.I التوهين

يعطى التوهين A للوصلة على النحو التالي:

$$A = \alpha L + \alpha_s x + \alpha_c y \qquad \text{(I-1)}$$

حيث:

α = معامل التوهين النمطي لكبلات ليفية في الوصلة؛

α_s = متوسط خسارة الجدالة؛

X = عدد الجدالات في الوصلة؛

α_c = متوسط الخسارة في واصلات الخط؛

Y = عدد واصلات الخط في الوصلة (في حال وجودها)؛

L = طول وصلة.

يجب توزيع هامش مناسب من أجل إجراء تعديلات مستقبلية على تشكيلات الكبلات (جدالات إضافية، وأطوال إضافية للكبل، وتأثيرات التقادم وتغيرات درجة الحرارة وغير ذلك). لا تشمل المعادلة أعلاه الخسارة الناجمة عن واصلات المعدات. وتتعلق القيم النمطية الواردة في الفقرة 5.I بمعامل توهين وصلات الألياف البصرية. ويجب أن يراعى في موازنة التوهين المستعملة في تصميم نظام فعلي، التغيرات الإحصائية في هذه المعلمات.

2.I التشتت اللوني

يمكن حساب التشتت اللوني بالوحدة ps/nm انطلاقاً من معاملات التشتت اللوني لقيم طول المصنع، مع افتراض تبعية خطية إزاء الطول، ومع إيلاء الاهتمام الواجب لإشارات المعاملات (انظر الفقرة 10.5).

وعندما تستعمل هذه الألياف للإرسال في منطقة 550 1 nm، تستخدم في كثير من الأحيان بعض أشكال تعويض التشتت اللوني. وفي هذه الحالة، يستخدم متوسط التشتت اللوني متوسط للوصلة لأغراض التصميم. ويمكن وصف هذا التشتت المقيس في نافذة 550 1 nm في إطار النافذة 550 1 nm بواسطة علاقة خطية على طول الموجة. وتوصف العلاقة من حيث معامل التشتت اللوني النمطي ومعامل منحنى التشتت عند 550 1 nm.

وترد في الفقرة I.5 القيم النمطية لمعامل التشتت اللوني $D_{1\,550}$ ومعامل منحنى التشتت اللوني S_{1550} عند منطقة 1 550 nm. ويمكن استعمال هذه القيم بالإضافة إلى طول الوصلة L_{Link} لحساب التشتت اللوني النمطي المستعمل في تصميم الوصلة البصرية.

$$D_{Link}(\lambda) = L_{Link}\left[D_{1550} + S_{1550}(\lambda - 1550)\right] \quad \text{(ps/nm)} \tag{I-2}$$

I.3 زمن الانتشار التفاضلي لمجموعة الترددات (DGD)

زمن الانتشار التفاضلي لمجموعة الترددات هو الفرق في أوقات الوصول بين أسلوبين من أساليب الاستقطاب عند طول موجة ووقت معينين. ويتباين زمن الانتشار التفاضلي لمجموعة الترددات في الوصلة ذات معامل تشتت بأسلوب الاستقطاب بصورة عشوائية مع تباين الوقت وطول الموجة مثل توزيع ماكسويل الذي يحتوي على معلمة واحدة هي نتاج معامل التشتت بأسلوب الاستقطاب الخاص بالوصلة، والجذر التربيعي لطول الوصلة. ويتوقف عطل النظام نتيجة للتشتت بأسلوب الاستقطاب في وقت وطول موجة معينين على زمن الانتشار التفاضلي لمجموعة الترددات في ذلك الوقت وطول الموجة. ولذا فقد استحدثت وسائل لإقامة حدود مفيدة لتوزيع زمن الانتشار التفاضلي لمجموعة الترددات من حيث علاقته بتوزيع معامل التشتت بأسلوب الاستقطاب في كبل الألياف البصرية وحدودها وتم توثيقها في الوثيقة IEC 61282-3 الصادرة عن اللجنة الكهرتقنية الدولية، وفيما يلي مصفوفات القيود على توزيع زمن الانتشار التفاضلي لمجموعة الترددات:

ملاحظة – يتجاوز تحديد مساهمة المكونات الأخرى عن كبل الألياف البصرية نطاق هذه التوصية، إلا أنه يرد في الوثيقة IEC 61282-3 الصادرة عن اللجنة الكهرتقنية الدولية.

طول الوصلة المرجعي، L_{Ref}: الحد الأقصى لطول الوصلة التي سينطبق عليها الحد الأقصى لزمن الانتشار التفاضلي لمجموعة الترددات والاحتمال الأقصى. وبالنسبة لأطوال الوصلة الأكبر، ينبغي ضرب الحد الأقصى لزمن الانتشار التفاضلي لمجموعة الترددات في الجذر التربيعي لنسبة الطول الفعلي إلى الطول المرجعي.

الحد الأقصى النمطي لطول الكبل، L_{Cab}: يجري ضمان الحدود القصوى عندما تكون الكبلات الفردية النمطية المجدولة أو أطوال الكبلات التي تقاس لدى تحديد توزيع معامل التشتت بأسلوب الاستقطاب أقل من هذه القيمة.

الحد الأقصى لزمن الانتشار التفاضلي لمجموعة الترددات، DGD_{max}: قيمة زمن الانتشار التفاضلي لمجموعة الترددات التي يمكن استخدامها في تصميم نظام بصري.

الاحتمال الأقصى، P_F: احتمال أن تتجاوز القيمة الفعلية لزمن الانتشار التفاضلي لمجموعة الترددات الحد الأقصى لهذا الزمن DGD_{max}.

I.4 المعامل غير الخطي

يتفاعل تأثير التشتت اللوني مع المعامل غير الخطي n_2/A_{eff} فيما يتعلق بانحطاطات النظام التي تحثها التأثيرات البصرية غير الخطية (انظر التوصيتين ITU-T G.663 وG.650.2). وتتباين القيم النمطية خلال التنفيذ. وما زالت طرائق اختبار المعامل غير الخطي قيد الدراسة.

I.5 جداول القيم النمطية الشائعة

تعتبر القيم الواردة في الجدولين I.1 وI.2 تمثيلية بالنسبة لوصلات الألياف البصرية المتسلسلة وفقاً للفقرات I.1 وI.2 وI.3 على التوالي. والمقصود من الألياف المتضمنة المستحدثة بالحد الأقصى من قيم زمن الانتشار التفاضلي لمجموعة الترددات (DGD) هو تقديم إرشادات فيما يتعلق بالمتطلبات الخاصة بعناصر بصرية أخرى يمكن أن تكون في الوصلة.

الجدول G.654/1.I – القيمة التمثيلية لوصلة الألياف البصرية المتسلسلة

النعت	التفصيل	القيمة
معامل التوهين	طول الموجة	القيمة النمطية للوصلة (انظر الملاحظة)
	nm 1550	dB/km 0,25
	nm 1625	تحدد فيما بعد
معامل التشتت النمص	nm D_{1550}	تحدد فيما بعد
	S_{1550}	تحدد فيما بعد
ملاحظة – تتوافق قيمة الوصلة النمطية مع معامل توهين الوصلة المستخدم في التوصيتين ITU-T G.957 وITU-T G.691.		

الجدول G.654/2.I – زمن الانتشار التفاضلي لمجموعة الترددات

الحد الأقصى للتشتت بأسلوب الاستقطاب PMD_Q (ps/√km)	طول الوصلة	الليفة المتضمنة المستحثة بالحد الأقصى لـــ(ps) DGD	معدلات بتات القناة
لا تحديد			عدد يصل إلى 2,5 Gbit/s
0,5	400	25,0	Gbit/s 10
	40	19,0 (انظر الملاحظة)	Gbit/s 10
	2	7,5	Gbit/s 40
0,20	3 000	19,0	Gbit/s 10
	80	7,0	Gbit/s 40
0,10	4 000 <	12,0	Gbit/s 10
	400	5,0	Gbit/s 40
ملاحظة – تنطبق هذه القيم أيضاً على أنظمة الإنترنت Gigabit 10.			

ملاحظة – يبلغ طول قسم الكبل 10 كم فيما عدا الوصلة 4000 km < /0,10 ps/√km حيث ضُبِط على 25 كم، ومستوى الاحتمال يبلغ $6,5 \times 10^{-8}$.

بيبليوغرافيا

[1] الوثيقة IEC 61282-3: (2006)، *مبادئ توجيهية لتصميم أنظمة الاتصالات بالألياف البصرية – الجزء 3؛ حساب التشتت بأسلوب الاستقطاب*.

تاريخ التوصية ITU-T G.654

1998 التوصية ITU-T G.654، *خصائص الكبل ذي الألياف البصرية أحادية الأسلوب بطول الموجة يبلغ 1 550 nm يقلل الفاقد إلى أقصى حد ممكن* الذي أنشأته لجنة الدراسة 15 التابعة لقطاع تقييس الاتصالات (1985-1988).

2000 التوصية ITU-T G.654 نقحتها لجنة الدراسات 15 التابعة لقطاع تقييس الاتصالات (1997-2000) ووافقت عليها الجمعية العالمية لتقييس الاتصالات (مونتريال، 27 سبتمبر – 6 أكتوبر 2000) باعتبار التبرع بها. وغير هذا التنقيح هيكل التوصية وفقاً للتوصيات الأخرى المتعلقة بالألياف من مثل التوصيات ITU-T G.652، وITU-T G.653، وITU-T G.655.

2002 التوصية ITU-T G.654 نقحتها لجنة الدراسات 15 التابعة لقطاع تقييس الاتصالات (2001-2004) ووافقت عليها باعتبارها الطبعة الخامسة بموجب الإجراء AAP في 29 يونيو 2002. وأضاف هذا التنقيح فئة جديدة من الألياف مع تغيير نعوت قطر مجال الأسلوب ومعامل التشتت اللوني على النحو الوارد في G.654.B. ووفقاً للاتفاق بشأن النطاقات الطيفية، غيِّر وصف الحد الأعلى من النطاق L من 16xx nm إلى 1 625 nm. وعدلت مصطلحات الفئة الفرعية الأساسية والفئة الفرعية لتصبح الفئة الأساسية والفئة، على التوالي.

2004 التوصية ITU-T G.654 نقحتها لجنة الدراسات 15 التابعة لقطاع ITU-T (2001-2004)، ووافقت عليها باعتبارها الطبعة السادسة بموجب الإجراء AAP في 13 يونيو 2004. وخفض هذا التنقيح حد التشتت بأسلوب الاستقطاب PMD_Q (بالمقارنة مع الحد 0,5 ps/√km) في G.654.B وأضافت فئة جديدة خفضت حد PMD_Q. وخفض حد التسامح لقطر مجال الأسلوب في G.654.B إلى ± 0,7 µm وبالنسبة لاختبار الانحناء الكلي خفض قطر الاسطوانة إلى نصف قطر يبلغ 30 mm.

وكما تبين مما ذكر أعلاه تطورت هذه التوصية تطوراً كبيراً بمضي سنوات؛ ولذلك يتعين تحذير القارئ لدراسة الطبعة الملائمة من أجل تحديد خصائص المنتج الذي نشر فعلياً مع أخذ سنة الإنتاج في الحسبان. والواقع أن المتوقع هو أن تمتثل المنتجات للتوصية التي كانت نافذة وقت صناعتها لكنها قد لا تمتثل امتثالاً كاملاً مع مقتضيات الطبعات اللاحقة للتوصية.

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 والأنظمة متعددة الوسائط
السلسلة I	الشبكة الرقمية متكاملة الخدمات
السلسلة J	الشبكات الكبلية وإرسال إشارات تلفزيونية وبرامج صوتية 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 ومسائل الأمن
السلسلة Y	البنية التحتية العالمية للمعلومات وملامح بروتوكول الإنترنت وشبكات الجيل التالي
السلسلة Z	اللغات والجوانب العامة للبرمجيات في أنظمة الاتصالات

طبعت في سويسرا
جنيف، 2009