

الاتحاد الدولي للاتصالات

## السلسلة G

### الإضافة 41

(2005/07)

## ITU-T

قطاع تقييس الاتصالات  
في الاتحاد الدولي للاتصالات

السلسلة G: أنظمة الإرسال ووسائطه والأنظمة  
والشبكات الرقمية

إرشادات بشأن تصميم أنظمة الكبلات البحرية  
بألياف بصرية

توصيات السلسلة ITU-T G - الإضافة 41

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

G.199 – G.100	التوصيلات والدارات الهاتفية الدولية
G.299 – G.200	الخصائص العامة المشتركة لكل الأنظمة التماثلية بموجات حاملة
G.399 – G.300	الخصائص الفردية للأنظمة الهاتفية الدولية بموجات حاملة على خطوط معدنية
G.449 – G.400	الخصائص العامة للأنظمة الهاتفية الدولية اللاسلكية، أو الساتلية والتوصيل البيئي مع الأنظمة على خطوط معدنية
G.499 – G.450	تنسيق المهاتفة الراديوية والمهاتفة على الخطوط
G.599 – G.500	تجهيزات اختبار
G.699 – G.600	خصائص وسائط الإرسال
G.799 – G.700	تجهيزات مطرافية رقمية
G.899 – G.800	الشبكات الرقمية
G.999 – G.900	الأقسام الرقمية وأنظمة الخطوط الرقمية
G.1999 – G.1000	نوعية الخدمة وأداء الإرسال – الجوانب الخاصة والجوانب المتعلقة بالمستعمل
G.6999 – G.6000	خصائص وسائط الإرسال
G.7999 – G.7000	التجهيزات المطرافية الرقمية
G.8999 – G.8000	الشبكات الرقمية
G.9999 – G.9000	شبكات النفاذ

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

## إرشادات بشأن تصميم أنظمة الكبلات البحرية بألياف بصرية

### ملخص

تصف هذه الإضافة اعتبارات بشأن تصميم الأنظمة الحاوية على مكررات والأنظمة الحالية منها والأنظمة المكبرة بصرياً التي تدعم إشارات التراتب الرقمي المتزامن (SDH) وشبكة النقل البصرية (OTN) في أنظمة الكبلات البحرية البصرية. وتركز الإضافة تحديداً على مسائل معينة تتعلق بأنظمة الكبلات البحرية بألياف بصرية.

وتصف أيضاً طريقة تفكير شائعة بشأن المتطلبات اللازمة لتصميم أنظمة الكبلات البحرية بألياف بصرية وترمي إلى تدعيم المواد المتصلة بالعديد من التوصيات والتوسع في تناولها، بما فيها التوصيات G.971 و G.972 و G.973 و G.974 و G.975 و G.975.1 و G.976 و G.977.

### المصدر

وافقت لجنة الدراسات 15 (2005-2008) لقطاع تقييم الاتصالات بتاريخ 27 مايو 2005 على الإضافة 41 لتوصيات السلسلة ITU-T G. بموجب الإجراء المحدد في التوصية ITU-T A.8.

## تمهيد

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

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

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

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

## ملاحظة

تستخدم كلمة "الإدارة" في هذه التوصية لتدل بصورة موجزة سواء على إدارة اتصالات أو على وكالة تشغيل معترف بها. والتقييد بهذه التوصية اختياري. غير أنها قد تضم بعض الأحكام الإلزامية (بهدف تأمين قابلية التشغيل البيئي والتطبيق مثلاً). ويعتبر التقييد بهذه التوصية حاصلًا عندما يتم التقييد بجميع هذه الأحكام الإلزامية. ويستخدم فعل "يجب" وصيغ ملزمة أخرى مثل فعل "ينبغي" وصيغها النافية للتعبير عن متطلبات معينة، ولا يعني استعمال هذه الصيغ أن التقييد بهذه التوصية إلزامي.

## حقوق الملكية الفكرية

يسترعي الاتحاد الانتباه إلى أن تطبيق هذه التوصية أو تنفيذها قد يستلزم استعمال حق من حقوق الملكية الفكرية. ولا يتخذ الاتحاد أي موقف من 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، لم يكن الاتحاد قد تلقى إخطاراً بملكية فكرية تحميها براءات الاختراع يمكن المطالبة بها لتنفيذ هذه التوصية. ومع ذلك، ونظراً إلى أن هذه المعلومات قد لا تكون هي الأحدث، يوصى المسؤولون عن تنفيذ هذه التوصية بالاطلاع على قاعدة المعطيات الخاصة ببراءات الاختراع في مكتب تقييس الاتصالات (TSB).

© ITU 2005

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

## جدول المحتويات

### الصفحة

1	..... مجال التطبيق	1
1	..... المراجع	2
1	..... 1.2 المراجع العامة	
2	..... 2.2 المراجع الواردة في البنود 6 و7 و9	
3	..... المصطلحات والتعاريف	3
3	..... المختصرات والتسميات المختصرة	4
5	..... معلمات عناصر النظام	5
5	..... 1.5 معلمات المرسل	
7	..... 2.5 معلمات الكبلات البحرية	
10	..... 3.5 معلمات المكررات البحرية	
13	..... 4.5 معلمات وصلة الكيل	
14	..... 5.5 معلمات المستقبلات	
16	..... طوبولوجيا الشبكة البصرية	6
16	..... 1.6 تشكيلة نقطة إلى نقطة	
16	..... 2.6 تشكيلة النجمة	
16	..... 3.6 النجمة المتفرعة	
17	..... 4.6 الخط الرئيسي والخط الفرعي	
17	..... 5.6 تكشيلة الإكليل (الفستون)	
17	..... 6.6 الحلقة	
18	..... 7.6 الحلقة المتفرعة	
18	..... اعتبارات بشأن تصميم النظام	7
18	..... 1.7 موازنة القدرة البصرية	
33	..... 2.7 اعتبارات بشأن التشتت	
35	..... التصحيح الأمامي للأخطاء	8
35	..... اعتبارات بشأن الموثوقية	9
35	..... 1.9 متطلبات الموثوقية	
35	..... 2.9 العطب الداخلي	
39	..... 3.9 العطب الخارجي	
40	..... 4.9 تحديد موقع العطب	
40	..... اعتبارات بشأن القدرة على التحسين	10



إرشادات بشأن تصميم أنظمة الكبلات البحرية بألياف بصرية

1 مجال التطبيق

تصف هذه الإضافة اعتبارات بشأن تصميم الأنظمة الحاوية على مكررات والأنظمة الحالية منها والأنظمة المكبرة بصرياً التي تدعم إشارات التراتب الرقمي المتزامن (SDH) وشبكة النقل البصرية (OTN) في أنظمة الكبلات البحرية البصرية. وتركز هذه الإضافة تحديداً على مسائل معينة تتعلق بأنظمة الكبلات البحرية بألياف بصرية.

وتصف أيضاً طريقة تفكير شائعة بشأن المتطلبات اللازمة لتصميم أنظمة الكبلات البحرية بألياف بصرية وترمي إلى تدعيم المواد المتصلة بالعديد من التوصيات والتوسع في تناولها، بما فيها التوصيات G.971 و G.972 و G.973 و G.974 و G.975 و G.975.1 و G.976 و G.977.

كما ستتيح هذه الإضافة لقارئ أن يفهم بشكل أفضل المواصفات الواردة في التوصيات المتعلقة بالسطوح البينية للأنظمة والمكونات والألياف التي تعكف على وضعها حالياً لجنة الدراسات 15 التابعة لقطاع تقييس الاتصالات (ITU-T) في المسائل 5 و 7 و 8 على التوالي. وينبغي ألا تحول هذه الإضافة دون التطوير التقني ذي الصلة بتكنولوجيات تصميم أنظمة كبلات الألياف البصرية.

2 المراجع

1.2 المراجع العامة

تستشهد هذه الإضافة بما يرد أدناه من توصيات ومراجع أخرى صادرة عن قطاع تقييس الاتصالات (ITU-T).

- 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 وغير الخطية للألياف والكبلات أحادية الأسلوب.
- التوصية ITU-T G.652 (2005)، خصائص الكبلات والألياف البصرية أحادية الأسلوب.
- التوصية ITU-T G.653 (2003)، خصائص الكبلات والألياف البصرية أحادية الأسلوب وذات التشتت المتخالف.
- التوصية ITU-T G.654 (2004)، خصائص الكبلات والألياف البصرية أحادية الأسلوب وذات القطع المرحح.
- التوصية ITU-T G.655 (2003)، خصائص الكبلات والألياف البصرية أحادية الأسلوب وذات التشتت المتخالف غير المعدوم.
- التوصية ITU-T G.656 (2004)، خصائص الكبلات والألياف ذات التشتت غير المعدوم لتطبيقات النقل البصري عريضة النطاق.
- التوصية ITU-T G.661 (1998)، تعريف العلامات التنوعية المتصلة بأجهزة المكبرات البصرية وأنظمتها الفرعية وطرائق الاختبار الخاصة بها.
- التوصية ITU-T G.663 (2000)، الخصائص التنوعية للأجهزة والأنظمة الفرعية للمكبرات البصرية.
- التوصية ITU-T G.671 (2005)، خصائص الإرسال في المكونات والأنظمة الفرعية البصرية.

- التوصية ITU-T G.691 (2003)، 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 وذات المكبرات البصرية.
- التوصية ITU-T G.693 (2005)، السطوح البينية البصرية للتوصيلات المحلية
- التوصية ITU-T G.694.1 (2005)، شبكات الطيف لتطبيقات تعدد الإرسال بتقاسم طول الموجة (WDM): شبكة تردد تعدد إرسال بتقاسم مكثف لطول الموجات (DWDM).
- التوصية ITU-T G.694.2 (2003)، شبكات الطيف لتطبيقات تعدد الإرسال بتقاسم طول الموجة (WDM): شبكة تردد تعدد إرسال بتقاسم تقريبي لطول الموجات (CWDM).
- التوصية ITU-T G. 826 (2002)، معلمات وأهداف أداء الأخطاء من طرف إلى طرف للمسيرات والتوصيلات الرقمية الدولية ذات معدل البتات الثابت.
- التوصية ITU-T G. 828 (2002)، معلمات وأهداف أداء الأخطاء في المسارات الرقمية الدولية المتزامنة ذات معدل البتات الثابت.
- التوصية ITU-T G.911 (1997)، معلمات ومنهجيات حساب لضمان موثوقية أنظمة الألياف البصرية وتيسرها.
- التوصية ITU-T G. 957 (1999)، السطوح البينية البصرية للمعدات والأنظمة المتعلقة بالتتابع الرقمي المتزامن.
- التوصية ITU-T G. 959.1 (2003)، السطوح البينية للطبقة المادية لشبكة النقل البصرية.
- التوصية ITU-T G. 971 (2004)، السمات العامة لأنظمة الكبلات البحرية بالألياف البصرية.
- التوصية ITU-T G. 972 (2004)، تحديد المصطلحات المتعلقة بأنظمة الكبلات البحرية بالألياف البصرية.
- التوصية ITU-T G. 973 (2003)، خصائص أنظمة الكبلات البحرية بالألياف البصرية دون مكررات.
- التوصية ITU-T G.974 (2004)، خصائص أنظمة الكبلات البحرية بالألياف البصرية المحددة.
- التوصية ITU-T G.975 (2000)، تصحيح أمامي لأخطاء الأنظمة البحرية.
- التوصية ITU-T G.975.1 (2004)، تصحيح أمامي لأخطاء الأنظمة البحرية لتعدد الإرسال بتقاسم مكثف لطول الموجات وذات معدل البتات المرتفع.
- التوصية ITU-T G.976 (2004)، طرائق الاختبار المطبقة على أنظمة الكبلات البحرية بالألياف البصرية.
- التوصية ITU-T G.977 (2004)، خصائص أنظمة الكبلات البحرية البصرية المكبرة بصرياً.
- توصيات السلسلة G الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات (ITU-T) - الإضافة 39 (2003)، تصميم الأنظمة البصرية والاعتبارات الهندسية.
- (2002) IEC/TR 61282-3، أدلة تصميم أنظمة الاتصال ذات الألياف البصرية - الباب 3: حساب تشتت أسلوب الاستقطاب.
- (2004) IEC/TR 62380، دليل موثوقية المعطيات - نموذج عام للتنبؤ بموثوقية مكونات الأجهزة الإلكترونية، ولوحات ومعدات الدارات المطبوعة (PCBs).

## 2.2 المراجع الواردة في البنود 6 و7 و9

- [1] ZSAKANY (J.C.), MARSHALL (N.W.), ROBERTS (J.M.), ROSS (D.G.): The Application of Undersea Cable Systems in Globe Networking, *AT&T Technical Journal*, Vol. 74, No.1, pp.8-15, January/February 1995.



- [2] O'MAHONY (M.J.), SPIRIT (D.M.): High Capacity Optical Transmission Explained, *John Wiley & Sons*, 1995.
- [3] WINZER (P.J.), KALMÁR (A.): Sensitivity Enhancement of Optical Receivers by Impulse Coding, *JLT*, Vol. 17, No. 2, February 1999.
- [4] AGRAWAL (G.P.): Nonlinear Fiber Optics, *Academic Press*, Edition 1989.
- [5] TKACH (R.W.), CHAPLYVY (A.R.), FORGHIERI (F.), GNAUCK (A.H.), DEROSIER (R.M.): Four Photon Mixing and High-Speed WDM Systems, *JLT*, Vol. 13, No. 5, May 1995.
- [6] BERGANO (N.S.), ASPELL (J.), DAVIDSON (C.R.), TRISCHITTA (P.R.), NYMAN (B.M.), KERFOOT (F.W.): Bit Error Rate Measurements of 14000 km 5 Gbit/s Fibre-Amplifier Transmission System using Recirculating Loop, *Elec. Letters*, Vol. 27, No. 21, October 1991.
- [7] Military Handbook MIL-HDBK-217, *Reliability prediction of electronic component* (1995).
- [8] Telcordia Technologies Special Report SR-332, *Reliability procedure for electronic equipment*, Issue No. 1 (May 2001).

### 3 المصطلحات والتعاريف

يمكن الاطلاع على التعاريف الرسمية في التوصيات الأولية.

### 4 المختصرات والتسميات المختصرة

تستعمل هذه الإضافة المختصرات التالية:

إعادة توليد القدرة، والشكل، والتوقيت (Regeneration of power, shape, and timing)	3R
إرسال تلقائي مضخم (Amplified Spontaneous Emission)	ASE
نسبة الخطأ في البتات (Bit Error Ratio)	BER
بداية العمر (Beginning Of Life)	BOL
وحدة تفرع (Branching Unit)	BU
مقياس متماسك لانعكاس المجال الزمني البصري (Coherent Optical Time Domain Reflectometry)	COTDR
ليفة أحادية الأسلوب ذات قطع مزحزح (Cut-off Shifted single mode Fibre)	CSF
تعدد إرسال بتقاسم تقريبي لطول الموجات (Coarse Wavelength Division Multiplexing)	CWDM
مهلة انتشار مجموعة تفاضلية (Differential Group Delay)	DGD
قسم خط رقمي (Digital Line Section)	DLS
تشكيل بزحزحة الطور التفاضلي (Differential Phase Shift Keying)	DPSK
ليفة أحادية الأسلوب ذات تشتت متخالف (Dispersion Shifted single mode Fibre)	DSF
تعدد إرسال بتقاسم مكثف لطول الموجات (Dense Wavelength Division Multiplexing)	DWDM
نظام تعدد إرسال بتقاسم مكثف لطول الموجات (Dense Wavelength Division Multiplexing System)	DWDMS
ليفة معالجة بالإريوم (Erbium Doped Fibre)	EDF
نهاية العمر (End Of Life)	EOL
نسبة خمود (Extinction Ratio)	ER
تصحيح أمامي للأخطاء (Forward Error Correction)	FEC

العطل في الوقت المناسب ( <i>Failure In Time</i> )	FIT
خلط الموجات الأربع ( <i>Four-Wave Mixing</i> )	FWM
سطح بيني فيما بين المجالات ( <i>Inter Domain Interface</i> )	IrDI
قناة بصرية خطية ( <i>Line Optical Channel</i> )	LOC
سطح بيني متعدد المسيرات في المستقبل ( <i>Multi-Path Interface at the Receiver</i> )	MPI-R
سطح بيني متعدد المسيرات في المرسل ( <i>Multi-Path Interface at the Source</i> )	MPI-S
متوسط الزمن الفاصل بين الأعطال ( <i>Mean Time Between Failures</i> )	MTBF
متوسط الزمن اللازم للتصليح ( <i>Mean Time To Repair</i> )	MTTR
ليفة أحادية الأسلوب من دون تشتت متخالف ( <i>Non Dispersion Shifted single mode Fibre</i> )	NDSF
عامل ضوضاء ( <i>Noise Figure</i> )	NF
لا عودة إلى الصفر ( <i>Non Return to Zero</i> )	NRZ
ليفة أحادية الأسلوب من دون تشتت متخالف بقيمة صفر ( <i>Non Zero Dispersion Shifted single mode Fibre</i> )	NZDSF
مضخم بصري ( <i>Optical Amplifier</i> )	OA
مزيل تعدد إرسال بصري ( <i>Optical Demultiplexer</i> )	OD
مضخم ألياف بصرية ( <i>Optical Fibre Amplifier</i> )	OFA
معدد إرسال بصري ( <i>Optical Multiplexer</i> )	OM
تشكيل فتح - إغلاق ( <i>On - Off Keying</i> )	OOK
نسبة الإشارة إلى الضوضاء البصرية ( <i>Optical Signal-to-Noise Ratio</i> )	OSNR
مكرر بحري بصري ( <i>Optical Submarine Repeater</i> )	OSR
قياس انعكاسي للمجال الزمني البصري ( <i>Optical Time Domain Reflectometry</i> )	OTDR
شبكة نقل بصرية ( <i>Optical Transport Network</i> )	OTN
كسب يعتمد على الاستقطاب ( <i>Polarization Dependent Gain</i> )	PDG
خسارة تعتمد على الاستقطاب ( <i>Polarization Dependent Loss</i> )	PDL
أجهزة تغذية بالطاقة ( <i>Power Feeding Equipment</i> )	PFE
احتراق فجوة الاستقطاب ( <i>Polarization Hole Burning</i> )	PHB
تشتت أسلوب الاستقطاب ( <i>Polarization Mode Dispersion</i> )	PMD
نقطة سطح بيني بصري أحادي القناة في المستقبل ( <i>Single channel optical interface point at the Receiver</i> )	R
مستقبل (بصري) ( <i>optical</i> ) Receiver	RX
عودة إلى الصفر ( <i>Return to Zero</i> )	RZ
سطح بيني بصري أحادي القناة في المرسل ( <i>Single channel optical interface at the Source</i> )	S
تراتب رقمي متزامن ( <i>Synchronous Digital Hierarchy</i> )	SDH

SOP	حالة استقطاب (State Of Polarization)
SPM	تشكيل ذاتي الطور (Self Phase Modulation)
SRS	انتثار رامان مستحث (Stimulated Raman Scattering)
SWS	نظام بطول موجي أحادي (Single Wavelength System)
TS	محطة مطرافية (Terminal Station)
TTE	أجهزة إرسال مطرافية (Terminal Transmission Equipment)
TX	مرسل (بصري) ((optical) Transmitter)
WDM	تعدد إرسال بتقاسم طول الموجات (Wavelength Division Multiplexing)
WDMS	نظام تعدد إرسال بتقاسم طول الموجات (Wavelength Division Multiplexing System)
XPM	تشكيل متقاطع الأطوار (Cross Phase Modulation)

## 5 معلمات عناصر النظام

### 1.5 معلمات المرسل

هذه المعلمات محددة عند إحدى النقطتين المرجعيتين لإخراج المرسل، وهما السطح البيئي البصري أحادي القناة في المرسل (S) أو نقطة السطح البيئي المتعدد المسيرات في المرسل (MPI-S)، وذلك على غرار ما يرد في التوصيات G.691 و G.692 و G.959.1 الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات (ITU-T).

#### 1.1.5 مدى طول موجات تشغيل النظام

يرد في التوصيتين G.691 و G.957 الصادرتين عن قطاع تقييس الاتصالات (ITU-T) مدى طول موجات التشغيل في الأنظمة أحادية القناة بتراتب رقمي متزامن (SDH) التي تعمل بمعدل يصل إلى 10 جيغابت/ثانية. وتحدد التوصية G.959.1 الصادرة عن نفس القطاع مدى طول موجات تشغيل السطوح البينية أحادية القناة والسطوح البينية متعددة القنوات فيما بين المجالات (IrDIs) والتي تعمل بمعدل يصل إلى 40 جيغابت/ثانية. وقد تستعمل تطبيقات أخرى نطاقات ومدى طول موجات مختلفين داخل النطاقات حسبها هو محدد في هذه الإضافة.

#### 2.1.5 الخصائص الطيفية

ترد في التوصيتين G.691 و G.957 الصادرتين عن قطاع تقييس الاتصالات (ITU-T) الخصائص الطيفية للسطوح البينية أحادية القناة بتراتب رقمي متزامن (SDH) التي تعمل بمعدل يصل إلى 10 جيغابت/ثانية. وقد يكون من الضروري إيجاد مواصفات إضافية لمعدلات البتات الأعلى والمسافات الأطول، ولا سيما في وسط متعدد الإرسال بتقاسم طول الموجات (WDM).

#### 3.1.5 الحد الأقصى لعرض طيف مصادر الأسلوب الطولي الوحيد (SLM)

تحدد التوصية G.691 الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات (ITU-T) هذه المعلمة للأنظمة أحادية القناة بتراتب رقمي متزامن (SDH).

#### 4.1.5 الحد الأقصى لعرض طيف مصادر الأسلوب الطولي المتعدد (MLM)

تحدد التوصية G.691 الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات (ITU-T) هذه المعلمة للأنظمة أحادية القناة بتراتب رقمي متزامن (SDH).

#### 5.1.5 تنوع طول الموجات

تحدد التوصية G.691 الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات (ITU-T) هذه المعلمة. ويحتمل أن تكون هناك حاجة لإيجاد مواصفات إضافية لسلوك دينامي مقرر زمنياً الأنظمة التي تعمل بمعدل بتات أعلى أو لمسافات أطول، وربما تعمل أيضاً عبر شفرات خط أخرى. ويخضع هذا الموضوع، إلى جانب قياس هذه المعلمة، للمزيد من البحث.

## 6.1.5 نسبة كبت الأسلوب الجانبي

تحدد التوصيات G.957 و G.691 و G.959.1 الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات (ITU-T) نسبة كبت الأسلوب الجانبي لمصدر بصري بأسلوب طولي أحادي. وترد فيها قيم محددة لأنظمة التراتب الرقمي المتزامن (SDH) وأنظمة السطوح البينية فيما بين المجالات (IrDI) لشبكة النقل البصرية (OTN) والتي تعمل بمعدل يصل إلى 40 جيجابت/ثانية.

## 7.1.5 الحد الأقصى لكثافة القدرة الطيفية

تحدد التوصية G.691 الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات (ITU-T) الحد الأقصى لكثافة القدرة الطيفية.

## 8.1.5 الحد الأقصى لمتوسط قدرة إخراج القناة

تعيّن وتعرّف التوصية G.959.1 الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات (ITU-T) الحد الأقصى لمتوسط قدرة إخراج قناة ذات إشارة بصرية متعددة القنوات.

## 9.1.5 الحد الأدنى لمتوسط قدرة إخراج القناة

هذه الخاصية التي تتسم بها إشارة بصرية متعددة القنوات محددة ومعروفة في التوصية G.959.1 الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات (ITU-T).

## 10.1.5 الترددات المركزية

ترد في التوصية G.694.1 الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات (ITU-T) الترددات المركزية لإشارات تعدد الإرسال بتقاسم طول الموجات (WDM). وترد هذه الترددات هنا بمقدار مباعدة منخفض بين القنوات يصل إلى 12,5 جيجاهرتز.

## 11.1.5 المباعدة بين القنوات

تحدد التوصية G.694.1 الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات (ITU-T) المباعدة بين القنوات في تعدد الإرسال بتقاسم مكثف لطول الموجات (DWDM) فضلاً عن تحديد هذه المباعدة في تعدد الإرسال بتقاسم تقريبي لطول الموجات (CWDM) في التوصية G.694.2 الصادرة عن نفس القطاع. ويرد في التوصية ITU-T G.671 تصنيف كامل لأنظمة تعدد الإرسال بتقاسم طول الموجات (WDM).

## 12.1.5 الحد الأقصى لانحراف التردد المركزي

تعيّن التوصيتان G.692 و G.959.1 الصادرتان عن قطاع تقييس الاتصالات (ITU-T) الحد الأقصى لانحراف التردد المركزي في القنوات البصرية المشفرة بالاعودة إلى الصفر (NRZ). وقد تتطلب احتمالات أخرى تستعمل ترشيحاً غير متناظر تعريفاً مختلفاً لا يزال قيد المزيد من البحث.

## 13.1.5 الحد الأدنى لنسبة الخمود

تعيّن التوصية G.959.1 الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات (ITU-T) الحد الأدنى لنسبة الخمود كقيمة لكل قناة في أنظمة تعدد الإرسال بتقاسم طول الموجات (WDM) المشفرة بالاعودة إلى الصفر (NRZ). وتنطبق نفس الطريقة على الإشارات المشفرة بالعودة إلى الصفر (RZ). أما فيما يتعلق بشفرات الخط الأخرى، فإن هذا التعريف هو رهن المزيد من البحث.

## 14.1.5 قناع مخطط العين

ترد في التوصيات G.957 و G.691 و G.693 وغيرها من التوصيات الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات (ITU-T) أقنعة مخطط العين في الأنظمة الأحادية القناة بتراتب رقمي متزامن (SDH). وتحدد التوصية G.959.1 الصادرة عن نفس القطاع أقنعة مخطط العين في السطوح البينية أحادية القناة والسطوح البينية متعددة القنوات فيما بين المجالات (IrDI) المشفرة بالاعودة إلى الصفر (NRZ).

## 15.1.5 الاستقطاب

تعطي هذه المعلمة توزيع استقطاب إشارة المصدر البصرية. وقد تؤثر هذه المعلمة على التفاوت المسموح به في تشتت أسلوب الاستقطاب (PMD) وهي معلمة مهمة في حالة تعدد إرسال الاستقطاب.

## 16.1.5 نسبة الإشارة إلى الضوضاء البصرية لمصدر بصري

تعطي هذه القيمة نسبة قدرة الإشارة البصرية بالمقارنة مع قدرة الضوضاء البصرية لمُرسل بصري في عرض نطاق معين مقترن بمسار الإرسال.

## 2.5 معلمات الكبلات البحرية

الغرض من الكبل البحري هو ضمان حماية الألياف البصرية من ضغط الماء وانتشار المياه طولياً والأضرار التي تسببها المواد الكيميائية وآثار التلوث بالمهيدروجين طيلة عمر تصميم الكبل.

ويتمثل الغرض من هذا الكبل أيضاً في ضمان عدم تعرض أداء الألياف لحالات انحناء عند مد الكبل وطمره واستعادته وتشغيله بتطبيق ممارسة بحرية قياسية.

وترد في التوصيات G.973 و G.974 و G.977 على التوالي الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات (ITU-T) المواصفات المتعلقة بالكبلات البحرية بألياف بصرية فضلاً عن الجوانب المتصلة بتنفيذ عمليات مدها.

## 1.2.5 تصنيف الكبلات البحرية

### 1.1.2.5 تصنيف على أساس التطبيق

يمكن أن يكون أي كبل بألياف بصرية مغمور تحت المياه كما يلي:

- كبل بحري بمكرر؛
- كبل بحري بدون مكرر؛
- كبل برمائي.

وبالإمكان استعمال الكبلات البحرية بمكررات في جميع التطبيقات المغمورة تحت المياه، وخاصة في المياه العميقة.

أما الكبلات البحرية بدون مكررات فهي ملائمة من حيث الاستعمال في المياه الضحلة والعميقة على حد سواء. وتُستعمل عموماً الكبلات البرمائية (MTC) لمدها عبر البحيرات والأنهار. وعادة ما تخضع الكبلات البحرية لاختبار شامل للتثبيت من إمكانية تركيبها وتصليحها في الموقع، حتى في أسوأ الظروف المناخية، من دون تعرض أدائها البصري أو الكهربائي أو الميكانيكي لأي حالة انحناء أو بدون زعزعة الثقة فيها.

### 2.1.2.5 تصنيف الكبلات على أساس الحماية التي توفرها

ينبغي أن توفر الكبلات البحرية بألياف بصرية الحماية من الأخطار البيئية عند استعمالها في أعماق المياه: أي أن توفر الحماية من آثار الحياة البحرية وقضم الأسماك لها والحماية من التآكل، وأن تكون مدرعة لحمايتها من الأنشطة التخريبية وأنشطة السفن. وتحدد التوصية G.972 الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات (ITU-T) أنواعاً مختلفة من الكبلات المحمية، ولا سيما ما يلي:

- كبل أحادي الدرع؛
- كبل مزدوج الدرع؛
- كبل مصمت الدرع.

### 3.1.2.5 تصنيف الكبلات على أساس الحماية التي يوفرها هيكل الكبلات للألياف

يتوقف السلوك الميكانيكي الكلي للكبل على قوة بنيته إلى جانب قوة أليافه. وينبغي أن تُصمم البنية والألياف بطريقة تكفل ديمومة عمر تصميم النظام، مع مراعاة الأثر التراكمي للحمولة الضاغطة على الكبل أثناء مده واستعادته وتصلحه، فضلاً عن مراعاة أي حمولة ضاغطة بشكل دائم على الكبل المركب أو أي نسبة استطالة متبقية مطبقة عليه.

ويُستعمل بشكل شائع نمطان تنوعيان من بنية الكبلات لحماية أليافها البصرية، وهما:

- بنية الكبلات المحكمة، حيث تُحفظ الألياف بإحكام داخل الكبل، بحيث تكون نسبة استطالة الألياف مساوية بقدر أساسي لنسبة استطالة الكبل.
- بنية الكبلات الطليقة التي تكون الألياف فيها حرة الحركة داخل الكبل، بحيث تكون نسبة استطالتها أدنى من نسبة استطالة الكبل، وتبقى بقيمة صفر حتى تبلغ نسبة استطالة الكبل قيمة معينة.

### 2.2.5 معلمات إرسال الألياف في كبل بحري معين

تشابه عموماً خصائص إرسال الألياف قبل تركيبها (تركيبها داخل الكبلات) الخصائص المحددة في التوصيات G.652 و G.653 و G.654 و G.655 و G.656 الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات (ITU-T)، أو تكون مطابقة لها. وتُنتقى أنواع الألياف المستعملة في النظام لتحقيق مستوى أمثل من حيث تكلفة النظام وأدائه ككل.

وينبغي أن تندرج خصائص إرسال الألياف داخل قسم أولي من كبل معين ضمن نطاق حد معين للتباين عن خصائص الألياف قبل تركيبها؛ ولا سيما تصميم الكبل، ولا بد أن تكون وصلات الكبل وأليافه مكبلة بطريقة لا تُحدث فيها انحناءات الألياف وانحناءاتها الصغيرة سوى زيادة لا قيمة لها في مستوى التوهين. ويُراعى هذا الأمر عند تعيين الحد الأدنى لنصف قطر انحناء الألياف داخل الكبل والأجهزة (وصلات الكبل البصري، الإنهاء، المكررات، إلى غير ذلك).

ومن الضروري أن يبقى كل من توهين الألياف والتشتت اللوني وتشتت أسلوب الاستقطاب (PMD) مستقرًا ضمن حدود معينة لعمر تصميم النظام؛ وينبغي تحديداً أن يعمل تصميم الكبل على التقليل من مستويات تسرب الهيدروجين من الخارج وتوليده داخل الكبل على حد سواء إلى الحدود المقبولة، حتى بعد حصول قطع في الكبل المستعمل في أعماق المياه؛ ولا بد أيضاً من مراعاة حساسية الألياف البصرية لأشعة غاما.

وتمثل المعلمات الرئيسية التي تحدد خصائص ليفة بصرية فيما يلي:

- معامل التوهين بجميع أطوال الموجات العاملة المعبر عنها بالوحدة dB/km؛
- معامل التشتت اللوني بجميع أطوال الموجات العاملة محسوباً بالوحدة ps/nm.km؛
- طول موجة التشتت الصفري  $\lambda_0$  محسوباً بالوحدة nm؛
- ميل التشتت حول أطوال الموجات العاملة محسوباً بالوحدة ps/nm<sup>2</sup>.km؛
- دليل الانكسار غير الخطي  $n_2$  محسوباً بالوحدة m<sup>2</sup>/W؛
- المساحة الفعالة  $A_{eff}$  محسوبة بالوحدة  $\mu\text{m}^2$ ؛
- المعامل غير الخطي  $n_2/A_{eff}$  محسوباً بالوحدة W<sup>-1</sup>؛
- إجمالي متوسط تشتت أسلوب الاستقطاب (PMD) محسوباً بالوحدة ps/(km)<sup>1/2</sup>.

وفيما يتعلق بهذه المعلمات، يمكن أن يميز مصممو الأنظمة البحرية بين عدة أنواع من الألياف البصرية، من بينها ما يلي:

- ليفة أحادية الأسلوب من دون تشتت متخالف (NDSF) محددة في التوصية G.652 الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات (ITU-T).
- ليفة أحادية الأسلوب بتشتت متخالف (DSF) محددة في التوصية ITU-T G.653.

- ليفة أحادية الأسلوب ذات قطع مزحزح (CSF) محددة في التوصية ITU-T G.654.
- ليفة أحادية الأسلوب من دون تشتت متخالف بقيمة صفر (NZDSF) محددة في التوصيتين G.655 و G.656 الصادرتين عن قطاع تقييس الاتصالات (ITU-T).
- ليفة أحادية الأسلوب بتعويض التشتت (DCF).
- ليفة بميل تشتت سلمي.
- ليفة بمساحة فعالة كبيرة للغاية.

ويمكن استعمال توليفات مختلفة تجمع بين هذه الأنواع من الألياف لضمان أداء النظام، وذلك اعتماداً على مواصفات النظام (معدل بنات المعطيات وتشفيرها، عدد أطوال الموجات، مدى المضخم، قدرة إخراج المضخم، طول الوصلة، وما إلى ذلك). ويُقال في هذه الحالة إن النظام مُدار بالتشتت.

### 1.2.2.5 خسارة الليفة

تتسم خسارة ليفة بصرية ما بمعامل التوهين المعبر عنه بالوحدة dB/km (قيمة لوغاريتمية) أو بالوحدة  $\text{km}^{-1}$  (قيمة خطية).

### 2.2.2.5 لا خطية الليفة

لا بد من مراعاة الآثار اللاخطية عند تصميم وصلات بصرية ممتدة عبر مسافات طويلة. بمضخمات ألياف بصرية (OFAs) ذات قدرة إخراج عالية. وتتراكم هذه الآثار على امتداد الوصلة البصرية وقد تعرض الانتشار للانحطاط بشكل كبير. ويتمثل عموماً الأثر اللاخطي السائد في نظام ذي طول موجي أحادي (SWS) في تشكيل ذاتي الطور للإشارة يتناسب مع المعامل اللاخطي (النسبة  $n_2/A_{\text{eff}}$ ) المضروب في مربع اتساعه المقيس. وتحت هذه اللاخطية، في وجود التشتت اللوني، على توسيع النبضة في المجال الزمني، وتؤدي بالتالي إلى انحطاط أداء النظام. أما في نظام تعدد الإرسال بتقاسم طول الموجات (WDMS) أو نظام تعدد الإرسال بتقاسم مكثف لطول الموجات (DWDMS)، فعادة ما يكون الأثر السائد تشكياً متقاطع الأطوار نتيجة لوجود أطوال موجية مجاورة. وتسبب هذه اللاخطية انحطاط الأداء.

### 3.2.2.5 تشتت أسلوب الاستقطاب (PMD)

تؤدي الانحرافات الصغيرة عن التناظر الاسطواني التام في مركز الليفة إلى انكسار مزدوج بسبب اختلاف دليل الأسلوب المصاحب للمكونات المستقطبة عمودياً للأسلوب الأساسي. ويسبب تشتت أسلوب الاستقطاب (PMD) انتشار نبضي وينبغي أن يكون مقيداً بقيمة قصوى. ويمكن التعبير عن هذه القيمة بالنسبة لكامل الوصلة، وهي تُثبت عموماً عند نسبة معينة للفواصل الزمنية للبتات. ويُعبر عن تشتت أسلوب الاستقطاب (PMD) بالوحدة  $\text{ps}/(\text{km})^{1/2}$ .

### 4.2.2.5 التشتت اللوني

التشتت اللوني هو اعتماد طول الموجة على سرعة المجموعة ولذلك فإن جميع المكونات الطيفية لإشارة بصرية معينة سوف تنتشر بسرعات مختلفة. ويسبب ذلك انتشار النبضة ويمكن أن يصبح انحطاطاً رئيسياً. وقد يكون من المهم إدارة هذا الأمر بطريقة مختلفة تماماً للحد من انتشار النبضة وما يترتب على ذلك من آثار انتشار أخرى، وذلك اعتماداً على تصميم النظام وخاصة على عدد أطوال الموجات (أنظمة تعدد الإرسال بتقاسم طول الموجات (WDM)). وتؤدي هذه الإدارة عموماً إلى رسم خارطة تشتت توضح كيفية إدارة هذا التشتت على امتداد الوصلة ككل.

### 3.2.5 المعلومات الميكانيكية لليفة

يعتمد أداء الليفة الميكانيكي اعتماداً كبيراً على تطبيق اختبار تثبيت على كامل طول الليفة. وتُحدد خصائص اختبار التثبيت من الليفة البصرية من خلال الحمولة المطبقة على الليفة أو على استطالتها، ومن خلال وقت التطبيق. وينبغي تحديد مستوى هذا الاختبار بوصفه إحدى وظائف بنية الكبل. وينبغي إجراء اختبارات تثبت مماثلة على الوصلات المحدولة لليفة. ويُوصى بأن تكون مدة هذه الاختبارات أقصر ما يمكن.

ويتعين أخذ القوة الميكانيكية للليفة ووصلاتها المحدولة في الحسبان من أجل تحديد الحد الأدنى لنصف قطر الخنء الليفة داخل الكبل والأجهزة (المكررات أو وحدات التفرع أو صناديق توصيل الكبلات أو نهايات الكبلات).

#### 4.2.5 معلمات الكبل الميكانيكية

ينبغي أن تتوخى السفن المعنية بمد الكبلات أثناء عمليات مد الكبلات وتصليحها توخي السلامة عند تناول الكبلات، وصناديق توصيلها، ومقرناتها، وعمليات نقلها؛ ولا بد أن تكون الكبلات متينة بحيث تقاوم عملية تمريرها المتعددة فوق مقدم سفينة مد الكبلات.

وينبغي أن يكون الكبل قابلاً للتصليح، وينبغي أن يكون الوقت المستغرق في جعل وصلة كبلية تعمل على نحو جيد على متن السفينة أثناء عملية التصليح وقتاً قصيراً بشكل معقول.

وفي حال علق الكبل بخطاف أو مرساة أو أداة لصيد السمك، فإن حمولة القطع الذي يُصاب به عادة ما تكون مساوية تقريباً لكسر حمولة قطع يُصيب كبل في حالات مده بخط مستقيم (وذلك اعتماداً على نوع الكبل وخواص الخطاف)؛ ومن ثم توجد مخاطر تتمثل في تقصير عمر الألياف والكبل وتقويض الموثوقية في المنطقة المجاورة لنقطة القطع، بالنظر تحديداً إلى الضغط الممارس على الألياف أو بسبب تغلغل الماء داخل الكبل؛ ولا بد من استبدال الجزء المتضرر من الكبل؛ وينبغي أن يظل طوله ضمن حدود قيمة معينة.

وتحدد التوصية G.972 الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات (ITU-T) عدة معلمات لتحديد الخصائص الميكانيكية للكبل وطواعية الكبل للتركيب والاستعادة والإصلاح وذلك لاستعمال هذه المعلمات كإرشادات يُسترشد بها في تناول الكبلات كالتالي:

- حمولة قطع الكبل المقيسة أثناء إجراء اختبار الأهلية؛
- حمولة قطع ألياف الكبل المقيسة أثناء إجراء اختبار الأهلية؛
- قوة الشد الانتقالية الاسمية التي يمكن مواجهتها عرضاً، ولا سيما أثناء عمليات الاستعادة؛
- قوة الشد التشغيلية الاسمية التي يمكن مواجهتها خلال عمليات التصليح؛
- قوة الشد الدائمة الاسمية التي تحدد خصائص حالة الكبل بعد مده؛
- الحد الأدنى لنصف قطر التواء الكبل الذي يعد توجيهاً يُسترشد به في تناول الكبلات.

#### 5.2.5 معلمات الكبل الكهربائية

ينبغي أن يمكن الكبل من تغذية المكررات أو وحدات التفرع البعيدة بالطاقة، وأن يضم الكبل موصلاً للطاقة ذي مقاومة خطية منخفضة، وعازلاً ذي قدرة عزل عالية التوتر.

#### 6.2.5 طول الكبل البحري من المصنع

ينبغي أن يكون الكبل البحري أطول ما يمكن. وينبغي أن يكون هذا الطول عموماً أطول من 25 كم.

#### 7.2.5 معلمات الكبل البحري المادية

تشمل معلمات الكبل البحري المادية قطره الخارجي ووزنه في الهواء ووزنه في الماء.

#### 8.2.5 كبل التصليح

يُستعمل كبل التصليح عند قطع الكبل البحري أو تلفه. وينبغي أن يكون كبل التصليح مطابقاً للكبل الذي يتعين تصليحه من حيث الخصائص البصرية، والإلكترونية، والميكانيكية التي يتسم بها.

#### 3.5 معلمات المكررات البحرية

يرجى الرجوع إلى التوصيتين G.974 و G.977 الصادرتين عن قطاع تقييس الاتصالات (ITU-T) للاطلاع على معلمات المكررات البحرية.



### 1.3.5 أنواع المكررات

يوجد ثلاثة أنواع من المكررات، هي:

- مكرر بصري بإعادة توليد كهربائي للقدرة والشكل والتوقيت (3R)؛
- مكرر بصري بمضخم ألياف معالجة بالإرييوم (EDF)؛
- مكرر بصري بمضخم رامان.

ملاحظة – يُستعمل تعبير مضخم ألياف بصرية (OFA) في بنود أخرى من هذه الإضافة ليشمل مضخمات الألياف المعالجة بالإرييوم (EDF) ومضخمات رامان.

### 2.3.5 معلمات المكرر البصري بإعادة توليد كهربائي للقدرة والشكل والتوقيت (3R)

#### 1.2.3.5 المعلمات البصرية

يجب أن تكون الإشارة المرسله عبر السطح البيني البصري متفقة مع موازنة قدرة القسم البصري. وينبغي مراعاة حدين معينين في وقت تجميع النظام تحديداً، وهما:

- الحد الأدنى لمتوسط قدرة إدخال المكرر (dBm): متوسط القدرة البصرية في الإشارة الخطية البصرية التي يجب أن تتيسر في وقت تجميع الوصلة في السطح البيني لإدخال المكرر البصري كيما يتسنى لموازنة القدرة البصرية لقسم الكبل توفير الهامش المضمون.
- الحد الأدنى لمتوسط قدرة إخراج المكرر (dBm): متوسط القدرة البصرية في الإشارة الخطية البصرية التي ينبغي أن تتيسر في وقت تجميع الوصلة في السطح البيني لإخراج المكرر البصري لكي يتسنى لموازنة القدرة البصرية لقسم الكبل توفير الهامش المضمون.

وينبغي تحديد معلمات مماثلة للأنظمة المتكاملة كجزء من مواصفات التكامل في السطح البيني البصري لخط التكامل.

#### 2.2.3.5 معلمات الارتعاش

يتعين أن يكون أداء ارتعاش المكرر (التفاوت المسموح به في الارتعاش، الحد الأقصى لارتعاش الإخراج، خصائص نقل الارتعاش) متوائماً مع مواصفات النظام.

وينبغي تحديد نفس المعلمات، الكثافة الطيفية لارتعاش مكرر الإخراج وارتعاش الترافف للأنظمة المتكاملة كجزء من مواصفات التكامل في السطح البيني البصري لخط التكامل.

### 3.3.5 معلمات المكرر البصري بمضخم ألياف معالجة بالإرييوم (EDF)

#### 1.3.3.5 المعلمات البصرية

تتناول التوصية G.661 الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات (ITU-T) طرائق تحديد واختبار المعلمات التنوعية المتعلقة بمضخمات الألياف المعالجة بالإرييوم (EDF). ومن الضروري مراعاة المعلمات التالية في هذه المضخمات (EDF) داخل المكررات، وهي:

- كسب الإشارة الصغيرة (SSG)؛
- الكسب الاسمي (NG)؛
- عامل الضوضاء (NF)؛
- قدرة إخراج الإشارة الاسمية (NSOP)؛
- قدرة إدخال الإشارة الاسمية (NSIP)؛
- عامل الانضغاط (CF)؛

- الحد الأدنى لمتوسط قدرة إدخال المكرر (dBm)؛
- الحد الأدنى لمتوسط قدرة إخراج المكرر (dBm)؛
- أداء الارتعاش؛
- أداء مزحزح الطور.

وعلاوة على ذلك، فإن من الضروري أيضاً مراعاة المعلمة التالية خصوصاً فيما يتعلق بنظام تعدد الإرسال بتقاسم طول الموجات (WDM)، وهي:

- تسطح الكسب (GF).

### 2.3.3.5 آثار الاستقطاب

اعتماداً على متطلبات النظام يمكن اختيار أحاد المكونات البصرية لمضخم ألياف معالجة بالإريوم (EDF) لضمان عدم تأثر أدائه إلى حد معقول بآثار الاستقطاب مثل الخسارة المعتمدة على الاستقطاب (PDL)، تشتت أسلوب الاستقطاب (PMD)، وهناك آثار استقطاب أخرى من قبيل الكسب المعتمد على الاستقطاب (PDG)، واحتراق فجوة الاستقطاب (PHB)، هي آثار متصلة ولا يمكن تلافيها أو الحد منها إلا باستعمال وسائل خارجية (مثل تخليط استقطاب الإشارات في مرسل أجهزة الإرسال المطرافية (TTE)).

### 4.3.5 معلمات المكرر البصري بمضخم رامان

هذه المعلمات قيد المزيد من البحث.

### 5.3.5 معلمات المكرر الميكانيكية

#### 1.5.3.5 حاوية المكرر

يجب أن تُصمم حاوية المكرر بشكل يفسح المجال أمام تشغيل المكررات البصرية في أعماق المياه السحيقة وأمام مدها، واستعادتها، وإعادة مدها من دون تعرض أدائها الميكانيكي والكهربائي والبصري للانحطاط.

واعتبارات التصميم الميكانيكي لحاوية المكرر هي كالاتي:

- ينبغي مراعاة مستوى الأداء والموثوقية وسهولة التصنيع في تحديد تخصيصات تصميم البنية الرئيسية ومكوناتها.
- من الضروري أن تكون حاوية المكرر بنية تشتت الحرارة وتمتص الصدمات على نحو فعال.
- ثمة حاجة إلى موصلات كهربائية عالية الموثوقية، ومقاومة للضغط، ولا تسمح بتسرب الغازات، وقليلة الخسارة كيما يتسنى للألياف وخطوط الطاقة الكهربائية الدخول إلى حاوية المكرر.
- ينبغي تحقيق تعاون الكبلات بقدر عالٍ من الموثوقية وقليل من الخسارة ومقاومة للضغط وتوفير قوة شد كافية لها.
- ربط الكبل بينية وصلة المكرر.

### 2.5.3.5 الوحدة الداخلية

يمكن أن تضم الوحدة الداخلية الموجودة داخل حاوية المكرر العديد من وحدات التغذية بالطاقة ومن أزواج مضخمات الألياف البصرية (OFA) لتضخيم الإشارة البصرية الموجهة من زوج واحد من الألياف أو من عدة أزواج منها في كلا الاتجاهين.

### 3.5.3.5 الحماية من التآكل

ينبغي تصميم الحاوية الخارجية للمكرر البحري البصري (OSR) على نحو يحميها من التآكل بفعل مياه البحر.

### 4.5.3.5 مقاومة ضغط المياه

ينبغي تصميم المكرر البحري البصري (OSR) بحيث يتحمل الضغط الشديد الذي يُثقل عليه في مياه البحار العميقة.

### 5.5.3.5 عزل الفلظية العالية

من الضروري عزل الفلظية العالية بين حاوية المكرر والوحدة الداخلية لضمان تشغيل المكرر.

### 6.5.3.5 إدارة الحرارة

يمكن تبديد الحرارة التي تولدها المكونات الإلكترونية داخل المكرر البحري البصري (OSR) تبديداً كافياً بواسطة التوصيل الحراري بحاوية المكرر.

### 7.5.3.5 سد حاوية المكرر بإحكام

ينبغي توفير الحماية للمكرر من دخول المياه والغازات إليه مباشرة على حد سواء من بيئة البحر المحيطة به ومن تسريب الكبل المحوري الناجم عن قطع كبل قريب من المكرر.

### 8.5.3.5 التحكم في الجو المحيط

قد يتطلب تشغيل مكونات المكرر تشغيلاً صحيحاً وموثوقاً فيه تهوية جو داخلي يتم التحكم فيه من حيث الرطوبة النسبية أو أية غازات يُتوقع أن تتولد داخل المكرر.

### 6.3.5 معلمات المكرر الكهربائية

#### 1.6.3.5 وحدات القدرة

تُغذى المكررات البحرية البصرية (OSRs) بالطاقة من محطة النهاية الطرفية التي تمدّها بتيار مستمر بواسطة الموصل الكهربائي عبر الكبل. وتغذي وحدات القدرة أزواج مضخمات الألياف البصرية (OFA) بالطاقة لضمان التضخيم البصري. وقد يقبل المكرر البحري البصري (OSR) كلتا القطبيتين الكهربائيتين.

#### 2.6.3.5 الحماية من تهور التيار الكهربائي

يجب حماية المكرر البحري البصري (OSR) من حالات تهور الطاقة التي قد يسببها قطع مفاجئ في التزويد بالفلظ العالي عبر الكبل (قطع الكبل أو حصول عطل تماس في أجهزة التزويد بالطاقة (PFE)).

### 4.5 معلمات وصلة الكبل

تتيح وصلات الكبل إمكانية وصل قسمين من الكبل، الأمر الذي يوفر الاستمرارية البصرية، والكهربائية، والميكانيكية بين أقسام الكبل المتماصة. ويؤمن وصل الكبلات القدرة على القيام بما يلي:

- وصل الأقسام الفرعية للكبلات معاً بالتعديل لتكوين أقسام كاملة؛
- وصل الكبل بالمكررات أثناء تجميع النظام؛
- إنهاء أطراف الكبلات لتحويلها لاحقاً إلى وصلات ربط كبل بكبل أثناء تركيب النظام؛
- وصل الكبل البحري بالكبل البري من خلال وصلة الشاطئ.

والغرض من وصلة الكبل البحري هو توفير توصيلات موثوقة بين الكبلات أو المكررات والكبل أثناء شدة عمليات شحن الكبلات على السفينة، وتوزيعها، واستعادتها، وتصليحها، وإعادة توزيعها في أعماق تصل إلى 7500 متر. والتصاميم المناسبة لموصلات الكبلات متمسرة لتلبية مختلف متطلبات الكبلات البحرية المدرجة.

## 1.4.5 المعلومات البصرية

### 1.1.4.5 خسارة الوصلات الجدولة

يُقصد بخسارة الوصلات الجدولة فرط الخسارة الناجمة عن تعديل الألياف وفرط الألياف البصرية عند وصل الكبل. ومن المستحسن إلى حد بعيد تقليل خسائر الوصلات الجدولة إلى أدنى حد. وينبغي أن يُطبق في طرائق اختبار هذه الخسارة ما يرد في التوصية G.650 الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات (ITU-T) حيثما يقتضي الحال ذلك.

## 2.4.5 المعلومات الميكانيكية

### 1.2.4.5 مقاومة القطع

تنتهي الأجزاء المكونة لمقاومة الكبل بتصميم مقبس يدخل فيه قابس، تتجاوز مقاومته للقطع ما نسبته 90 في المائة من الحد الأدنى لمقاومة القطع اللازمة للكبل.

### 2.2.4.5 مقاومة الشد

تحدد التوصية G.972 الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات (ITU-T) مقاومة الشد. أما الاحتمالات الأخرى فهي قيد المزيد من البحث.

### 3.2.4.5 الحماية من التآكل

يجب حماية الوصلة للحيلولة دون تعرضها للتآكل بفعل مياه البحر.

### 4.2.4.5 مقاومة ضغط المياه

ينبغي تصميم الوصلة بشكل يمكنها من مقاومة ضغط المياه الشديد.

### 5.2.4.5 سد الوصلة بإحكام

ينبغي توفير الحماية للوصلة من دخول المياه والغازات فيها من البيئة البحرية المحيطة بها.

### 6.2.4.5 خاصية الالتواءات

تكفل الصناديق التي تحد من الالتواءات حدوث تحول تدريجي في مقاومة الالتواءات على امتداد الوصلة، وهذه الصناديق مصممة للمرور عبر آلات مناولة الكبلات الكائنة على متن سفن مد الكبلات.

### 3.4.5 المعلومات الكهربائية

ينتهي هذا التوصيل الموصل الكهربائي داخل الكبل ويؤمن استمرار التزويد بالكهرباء على امتداد الوصلة.

### 1.3.4.5 عزل الفلظية العالية

من الضروري تحقيق عزل الفلظية العالية بين موصل الكبل بالطاقة والبحر لضمان تشغيل الوصلة.

### 4.4.5 المعلومات المادية

تشمل المعلومات المادية لوصلة الكبل طول الوصلة، وقطرها الخارجي وزنها في الهواء وزنها في الماء.

### 5.5 معلومات المستقبلات

هذه المعلومات محددة في النقاط المرجعية للمستقبل (R) أو السطح البيني المتعدد المسيرات في المستقبل (MPI-R) مثلما يرد في التوصيات G.957 و G.691 و G.692 و G.959.1 الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات (ITU-T).

## 1.5.5 الحساسية

تحدد التوصيتان G.957 و G.691 الصادرتان عن قطاع تقييس الاتصالات (ITU-T) حالات حساسية المستقبل للأنظمة أحادية القناة بتراتب رقمي متزامن (SDH) التي تعمل بمعدل يصل إلى 10 جيجابت/ثانية. أما حالات حساسية المستقبلات لأنظمة التراتب الرقمي المتزامن (SDH) وأنظمة السطوح البينية فيما بين المجالات (IrDI) لشبكة النقل البصرية (OTN) فمحددة في التوصية G.959.1 الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات (ITU-T).

وهذه الحالات محددة على أنها قيم معبرة عن نهاية عمر النظام وقيم أسوأ الحالات مع مراعاة هامشي التقادم ودرجة الحرارة فضلاً عن الإعاقات قناع عين أسوأ الحالات ونسبة الخمود اللذين تسببهما عيوب المرسل المحددة في مواصفات مرسل السطح البيني المعني. ومع ذلك، فإن الجزاءات المتصلة بآثار المسير محددة بمعزل عن القيمة الأساسية للحساسية.

## 2.5.5 الحمولة الزائدة

تحدد التوصيتان G.957 و G.691 الصادرتان عن قطاع تقييس الاتصالات (ITU-T) تعريف حمولة المستقبل الزائدة وقيم الأنظمة أحادية القناة بتراتب رقمي متزامن (SDH) التي تعمل بمعدل يصل إلى 10 جيجابت/ثانية. أما التوصية G.959.1 الصادرة عن نفس القطاع فتحدد تعريف الحمولة الزائدة وقيم مستقبلات التراتب الرقمي المتزامن (SDH) ومستقبلات السطوح البينية فيما بين المجالات (IrDI) لشبكة النقل البصرية (OTN) التي تعمل بمعدل يصل إلى 40 جيجابت/ثانية.

## 3.5.5 الحد الأدنى لمتوسط قدرة إدخال القناة

تحدد التوصية G.959.1 الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات (ITU-T) الحد الأدنى لمتوسط قدرة إدخال قناة السطوح البينية متعددة القنوات فيما بين المجالات (IrDIs) والمتعددة الإرسال البصري التي تعمل بمعدل يصل إلى 10 جيجابت/ثانية في المستقبلات المتعددة القنوات.

## 4.5.5 الحد الأقصى لمتوسط قدرة إدخال القناة

تحدد التوصية G.959.1 الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات (ITU-T) الحد الأقصى لمتوسط قدرة إدخال قناة السطوح البينية متعددة القنوات فيما بين المجالات (IrDIs) والمتعددة الإرسال البصري التي تعمل بمعدل يصل إلى 10 جيجابت/ثانية في المستقبلات المتعددة القنوات.

## 5.5.5 خطأ المسير البصري

تحدد التوصيتان G.957 و G.691 الصادرتان عن قطاع تقييس الاتصالات (ITU-T) تعريف إعاقه المسير البصري وقيم الأنظمة أحادية القناة بتراتب رقمي متزامن (SDH) التي تعمل بمعدل يصل إلى 10 جيجابت/ثانية. أما التوصية G.959.1 الصادرة عن نفس القطاع فتحدد تعريف هذه الإعاقه وقيم مستقبلات السطوح البينية فيما بين المجالات (IrDI) الأحادية القناة والمتعددة القنوات على حد سواء لشبكة النقل البصرية (OTN) والتي تعمل بمعدل يصل إلى 10 جيجابت/ثانية. كما تحدد نفس التوصية (G.959.1) تعاريف إعاقه المسير وقيم المستقبلات أحادية القناة بتراتب رقمي متزامن (SDH) ومستقبلات السطوح البينية فيما بين المجالات (IrDI) لشبكة النقل البصرية (OTN) والتي تعمل بمعدل يصل إلى 40 جيجابت/ثانية.

## 6.5.5 الحد الأقصى لاختلاف قدرة إدخال القناة

تبين هذه المعلمة الحد الأقصى للاختلاف في قدرة إدخال قنوات إشارة متعددة الإرسال البصري وهي محددة في التوصية G.959.1 الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات (ITU-T).

## 7.5.5 الحد الأدنى لنسبة الإشارة إلى الضوضاء البصرية (OSNR) في إدخال المستقبل

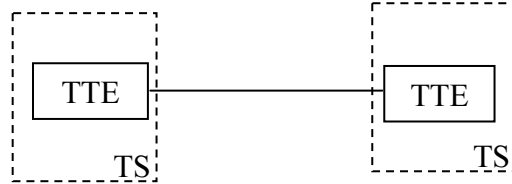
تحدد هذه القيمة الحد الأدنى لنسبة الإشارة إلى الضوضاء البصرية اللازمة لتحقيق نسبة الخطأ في البتات (BER) المستهدفة عند نقطة مرجعية لمستقبل ما بمستوى قدرة معين في الأنظمة التي تكون فيها نسبة الإشارة إلى الضوضاء البصرية (OSNR) محددة (مضخمة خطياً). ومن الجدير بالذكر أن هذه هي إحدى معلمات التصميم.

## 6 طوبولوجيا الشبكة البصرية

تتمثل أنواع طوبولوجيا الشبكة البصرية في أنظمة الكبلات البحرية بألياف بصرية في كونها من نقطة إلى نقطة، نجمة، نجمة متفرعة، خط رئيسي وخط فرعي، إكليل (فستون)، حلقة وحلقة متفرعة. وتستند هذه الفقرة إلى المعلومات الواردة في البند [1].

### 1.6 تشكيلة نقطة إلى نقطة

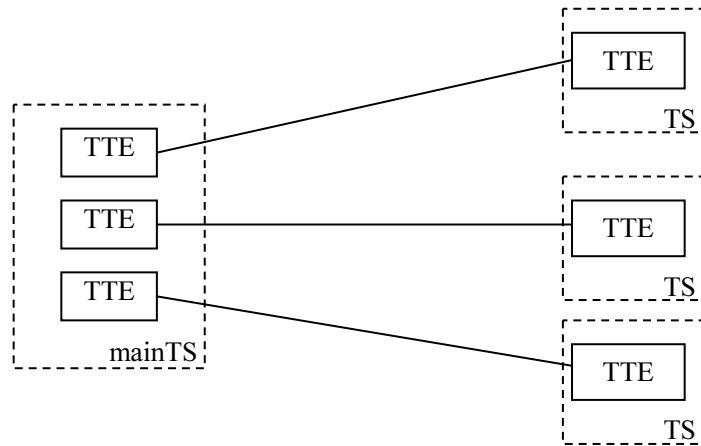
تتكون هذه التشكيلة (الشكل 1-6) من وصلة بحرية مباشرة بين جهازي إرسال مطرافيين (TTE) كائنين في محطتين مطرافيتين مختلفتين (TS).



الشكل 1-6 - طوبولوجيا تشكيلة من نقطة إلى نقطة

### 2.6 تشكيلة النجمة

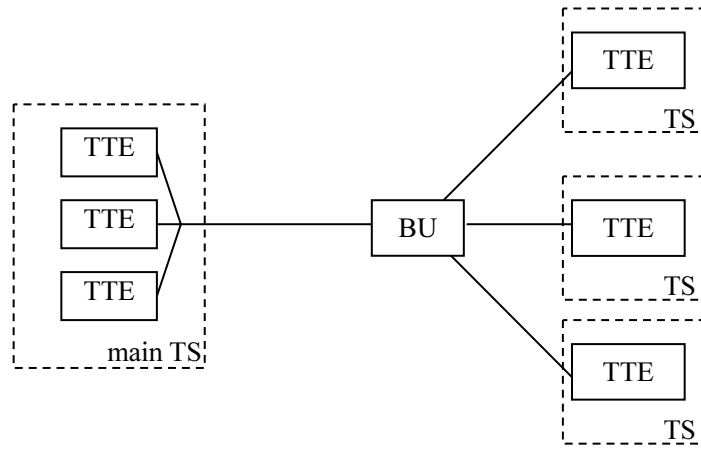
تتألف هذه التشكيلة (الشكل 2-6) من محطة مطرافية رئيسية (TS) تربط عدة محطات مطرافية أخرى (TS) بكبلات مستقلة. وتُرسل الحركة مباشرة في تشكيلة النجمة الأساسية من أجهزة الإرسال المطرافية (TTE) التابعة للمحطة المطرافية الرئيسية (TS) إلى جهاز الإرسال المطرافي (TTE) التابع لمحطات مطرافية أخرى (TS) على حدة. ولذلك، تتطلب شبكة النجمة كبلًا مستقلاً لكل محطة مطرافية (TS) الأمر الذي يؤدي إلى تشكيلة مكلفة نسبياً، ولا سيما عندما تكون المحطات المطرافية (TS) بعيدة من الناحية الجغرافية.



الشكل 2-6 - طوبولوجيا تشكيلة النجمة

### 3.6 النجمة المتفرعة

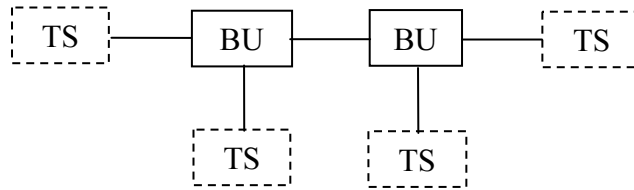
توفر هذه التشكيلة (الشكل 3-6) نفس القدرة التي توفرها تشكيلة النجمة الأساسية، فيما عدا أن فصل الحركة يتم تحت الماء، مما يقلل إلى أدنى حد من تكلفة مد كبل مستقل بين المحطات المطرافية (TS) الموجودة في مناطق بعيدة. ويتم فصل الحركة بوحدة تفريع (BU) تصل بينياً ألياف كبل خط رئيسي أحادي بألياف مستقلة داخل خطين فرعيين أو أكثر.



الشكل 3-6 - طوبولوجيا تشكيلة النجمة المتفرعة

#### 4.6 الخط الرئيسي والخط الفرعي

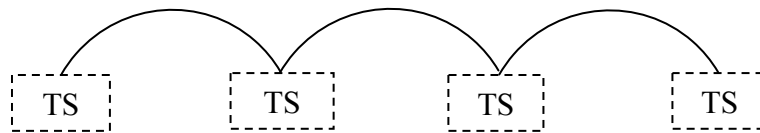
توصل هذه التشكيلة (الشكل 4-6) عدة محطات مطرافية (TS) تضم أجهزة إرسال مطرافية (TTE) بكبل خط رئيسي أحادي بواسطة وحدات تفرع تتيح استخلاص جزء من الحركة المسيرة في اتجاه المحطات المطرافية (TS) للخطوط الفرعية.



الشكل 4-6 - طوبولوجيا الخط الرئيسي والخط الفرعي

#### 5.6 تشكيلة الإكليل (الفتون)

تشكيلة الإكليل (الشكل 5-6) هي أساساً عبارة عن سلسلة من العروات الواصلة بين نقاط هبوط ساحلية رئيسية، وغالباً ما تُنشر - ولكن ليس دوماً - كنظام بدون مكررات. وفي معرض التكهن بتزايد متطلبات القدرة في المستقبل، فإن هذه التطبيقات غير الحاوية على مكررات عادة ما تُصمم من الناحية الهندسية بكبلات ذات تعداد ألياف أعلى من تلك اللازمة لتقديم خدمات أولية. وهكذا، وفي حال اقتضت الضرورة توفير قدرة إضافية، تكون الأجهزة المطرافية هي الاستثمارات الإضافية الوحيدة اللازمة لتحقيق ذلك. وتعكس معمارية تشكيلة إكليل ما في أغلب الأحيان معمارية نموذجية أرضية القاعدة. ويمكن أن تُستعمل هذه المعمارية في الكثير من الأحيان بوصفها طريق تسيير مكمل ومتنوع يؤدي إلى نظام أرضي القاعدة قائم. وتمثل هذه التشكيلة بديلاً متزايد الرواج بشكل مطرد لأي نظام أرضي القاعدة، ولا سيما عندما تثير التضاريس الأرضية القارية تحديات صعبة بشأن تركيب النظام وصيانته.

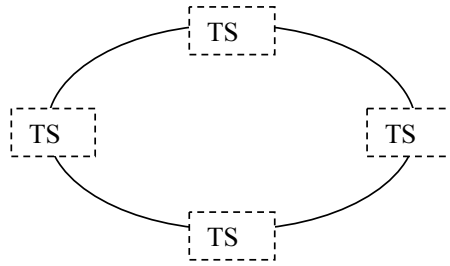


الشكل 5-6 - طوبولوجيا الإكليل (الفتون)

#### 6.6 الحلقة

تشكيلة الحلقة (الشكل 6-6) هي أساساً مجموعة من الكبلات الموصولة من نقطة إلى نقطة والتي تحوز ضعيف قدرة الإرسال اللازمة. وفي حال حصول أي عطب أحادي في الحلقة، من قبيل قطع كبل ما، تُسير الحركة حول الحلقة - بعيداً عن الجزء

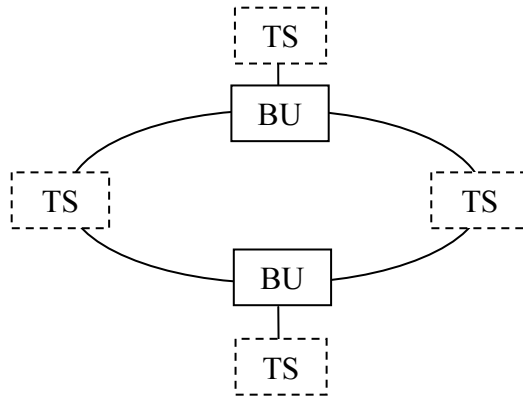
غير القابل للتشغيل - ويستمر تسييرها حتى مقصدها الأصلي. وتوفر أجهزة الإرسال الساحلية الكشف عن الأعطال أوتوماتياً والتحكم في كامل تبديل الحلقة ككل من دون إلغاء أي نداء.



الشكل 6-6 - طوبولوجيا الحلقة

## 7.6 الحلقة المتفرعة

تمد هذه التشكيلة (الشكل 6-7) القدرة الأساسية للحلقة بأسلوب فعال من حيث التكلفة من خلال إضافة وحدة تفرع. وتحتفظ بنية الحلقة المتفرعة بطابع التمام الحلقة ذاتياً. ولذلك، يمكن النظر إلى هذه الحلقة على أنها اندماج بين الخط الرئيسي والخط الفرعي والحلقة، مع الاحتفاظ بمعظم فوائد كل منها. وبالإمكان تصميم هذه التشكيلة بعدد من الطرائق تشمل إقراؤها عبر شبكات أخرى. ويمكن من خلال التخطيط السليم تركيب شبكة ما بوصفها تشكيلة خط رئيسي وخط فرعي وتحديثها فيما بعد لتصبح حلقة متفرعة.



الشكل 7-6 - طوبولوجيا حلقة متفرعة

## 7 اعتبارات بشأن تصميم النظام

### 1.7 موازنة القدرة البصرية

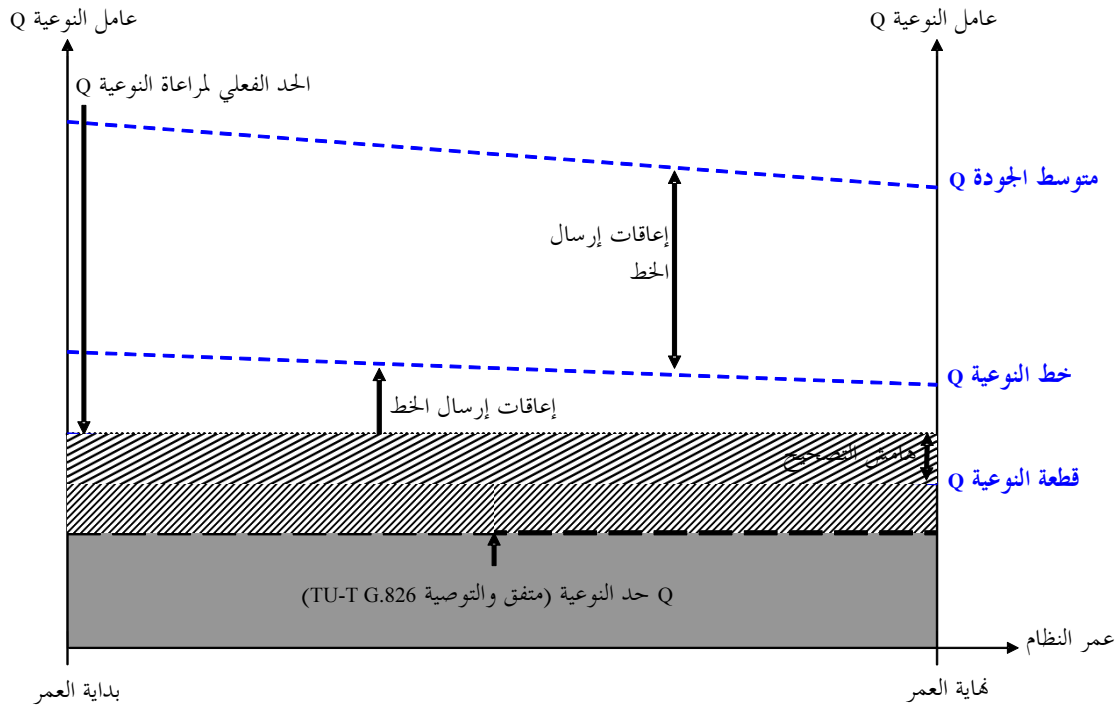
موازنة القدرة البصرية، حسبما تحددها التوصية G.976 الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات (ITU-T)، هي عبارة عن موازنة لأداء تعاقدية تكفل لأداء النظام أن يكون أفضل من الحد الأدنى اللازم لأداء نسبة الخطأ في البتات (BER) المحددة في التوصية G.826 و/أو التوصية G.828 الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات (ITU-T).

وتبدأ هذه الموازنة من عامل جودة خطي بسيط (عامل Q) لا يراعي سوى الانحطاط الذي تسببه ضوضاء الإرسال التلقائي المضخم (ASE) الصادرة عن المضخمات (المتوسط Q). ومن ثم، تخصص هذه الموازنة حالات الإعاقة/الانحطاط لجميع أنواع الانحطاط (الناشئة عن الإرسال، الناجم عن الأجهزة المطرافية، وما إلى ذلك). ويُقدر الانحطاط باستعمال توليفة تجمع بين التحليل النظري وعمليات المحاكاة بالحاسوب والقياسات المباشرة على فرشاة اختبار تجريبية.

ويُوصى بتحديد موازنتين منفصلتين للقدرة لكل قسم خط رقمي بحري، تكون إحدهما في بداية العمر (BOL) والأخرى في نهايته (EOL)، وذلك كالتالي:



- توفر موازنة القدرة في بداية العمر (BOL) أداء قسم الخط الرقمي البحري في أسوأ الحالات الذي يقاس أثناء استلام المعدات.
  - توفر موازنة القدرة في نهاية العمر (EOL) الأداء المقدر لقسم الخط الرقمي في أسوأ الحالات عند نهاية عمر النظام وتشمل هذه الموازنة هوامش كل من التقادم والأعطال الداخلية وهوامش تصليح معينة.
- ويتمثل هامش نهاية العمر (EOL) في الفرق بين أسوأ النوعية (Q) المقدر في نهاية عمر النظام والحد الأدنى لنفس العامل (Q) اللازم لتحقيق أداء الإرسال المطلوب. وبالإضافة إلى ذلك، ينبغي أن تظهر موازنة القدرة البصرية بوضوح الحد الأدنى لعامل النوعية Q اللازم لبلوغ أداء الأخطاء المحدد للنظام وأن تشمل تحسين الهامش المتيسر من خلال اللجوء إلى التصحيح الأمامي للأخطاء (FEC) (في حال انطباقه). (انظر الشكل 1-7)



الشكل 1-7 - مثال على هيكل موازنة القدرة

### 1.1.7 عامل النوعية (العامل Q)

يستعمل جدول موازنة القدرة البصرية قسم خط رقمي بحري معين عوامل النوعية (Q) على غرار الوصف الوارد في الملحق A/التوصية G.977 ويُعبر عنه بالديسيبل. ويستند النص التالي إلى الإضافة 39 لتوصيات السلسلة G الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات (ITU-T) وقد نُسخ في هذا الموضع من أجل إفادة القارئ.

وعامل النوعية (Q) هو نسبة الإشارة إلى الضوضاء في دائرة القرار وهو يُقاس بالوحدات الفلطية أو وحدات التيار، ويُحدد بالمعادلة التالية:

$$(1-7) \quad Q = \frac{(\mu_1 - \mu_0)}{(\sigma_1 + \sigma_0)}$$

حيث  $\mu_{1,0}$  هو متوسط قيمة فلطية أو تيارات العلامات/المجالات،  $\sigma_{1,0}$  هو الانحراف القياسي. وعلى سبيل المثال، تُماثل نسبة خطأ في البتات قدرها  $10^{-12}$  نسبة  $Q \approx 7,03$ .

وحيث إن التقنيات العملية لتقدير العامل  $Q$  تُجرى قياسات في المنطقتين العليا والسفلى من "العين" المستقبلية من أجل استنتاج نوعية الإشارة عند عتبة القرار المثلى، فإنه يمكن اعتبار  $Q$  بمثابة مجرد مؤشر نوعي على النسبة الفعلية للخطأ في البتات. والعلاقة الرياضية التحليلية المعبرة عن نسبة الخطأ في البتات (BER) (في حالة التشغيل بدون تصحيح أخطاء (FEC)) وعندما تكون العتبة مضبوطة على القيمة المثلى، هي علاقة تتمثل في المعادلة التالية:

$$(2-7) \quad BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{Q}{\sqrt{2}}\right)$$

حيث:

$$(3-7) \quad \operatorname{erfc}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-\frac{\beta^2}{2}} d\beta$$

وثمة تعبير تقريبي مستعمل بشكل شائع للدلالة على هذه الوظيفة هو كالتالي:

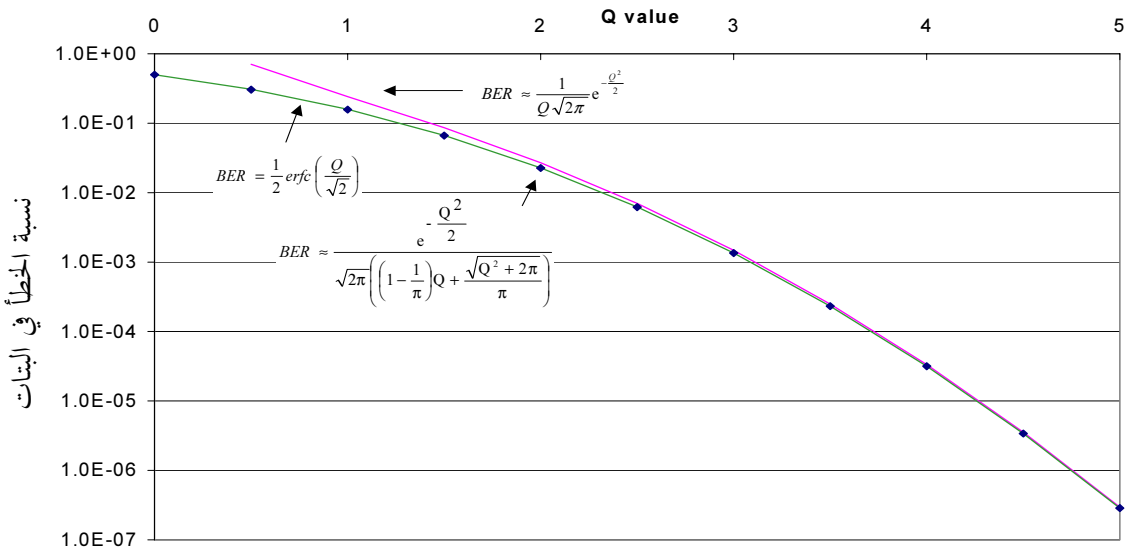
$$(4-7) \quad BER \approx \frac{1}{Q\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{Q^2}{2}}$$

وعندما تكون  $Q < 3$  (افتراض غوسي).

ويرد تعبير بديل يعطي قيمة دقيقة على كامل مدى  $Q$  [2] في المعادلة التالية:

$$(5-7) \quad BER \approx \frac{e^{-\frac{Q^2}{2}}}{\sqrt{2\pi} \left( \left(1 - \frac{1}{\pi}\right)Q + \frac{\sqrt{Q^2 + 2\pi}}{\pi} \right)}$$

ويرد في الشكل 2-7 تخطيط بياني يوضح هذين التعبيرين التقريبيين لقيم  $Q$  عندما يكونا أقل من 5 أو مساويين لها.



الشكل 2-7 - علاقات تقريبية تربط بين النسبة BER والعامل Q

ويُعتبر عن عامل الجودة (Q) بالديسيبل بدلاً من القيم الخطية كما يلي:

$$Q(\text{decibels}) = 20 \times \log_{10} Q(\text{linear}) \quad (6-7)$$

وينبغي من تحديد خصائص حالات أداء أي قسم خط رقمي بحري عن طريق قياس عامل نوعيته (Q) أو من خلال القياس المباشر لنسبة الخطأ في البتات (BER) الذي ينبغي أن يستوفي الحدود التعاقدية لمراعاة عامل النوعية (Q) في الخدمة والمبينة في موازنة القدرة البصرية.

ويُرجى الإحاطة علماً بأن المعادلات من 2-7 إلى 5-7 هي معادلات لا تصح سوى في حالة توزيع ضوضاء غوسية. وهذا التعبير التقريبي مقبول في أنساق التشكيل القائمة على تقنية تشكيل فتح - إغلاق (OOK) المستعملة على نطاق واسع في الأنظمة البحرية. أما أنساق التشكيل القائمة على تشكيل الأطوار مثل التشكيل بزحزة الطور التفاضلي (DPSK) التي دُرست مجدداً خلال السنوات القليلة المنصرمة فيما يتعلق بالتطبيقات المنفذة تحت سطح البحر فهي أنساق بحاجة إلى المزيد من البحث.

### 2.1.7 المعلومات المتعلقة بموازنة القدرة البصرية

يُوصى وفقاً لما يرد في التوصية G.977 الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات (ITU-T) بأن تراعي موازنة القدرة البصرية، كحد أدنى، حالات الانحطاط الناجمة عن الآثار والاعتبارات التالية:

- تراكم الضوضاء البصرية (انظر البند 3.1.7) ← متوسط حساب عامل النوعية Q.
- حالات انحطاط الانتشار (انظر البند 4.1.7) ← حساب عامل نوعية Q الخط.
- حالات انحطاط الانتشار الناجمة عن الآثار المختلطة للتشتت اللوني والآثار غير الخطية (تشكيل ذاتي الطور، تشكيل متقاطع الأطوار، آثار خلط الموجات الأربع بين قنوات بصرية خطية، انتشار رامان المستحث، غير ذلك) (انظر البند 1.4.1.7)؛
- حالات انحطاط الانتشار الناشئة عن آثار الاستقطاب البصري مثل تشتت أسلوب الاستقطاب (PMD)، الخسارة المعتمدة على الاستقطاب (PDL)، الكسب المعتمد على الاستقطاب (PDG). ونظراً لتقلب حالات الانحطاط هذه بمرور الوقت، فإنه ينبغي اتخاذ تدابير متميزة إزاء حالات تباين الأداء بمرور الوقت (انظر البند 2.4.1.7)؛
- حالات الانحطاط التي يسببها عدم تسطح منحنى الكسب التراكمي عبر كامل القطعة (انظر البند 3.4.1.7)؛
- انحطاط التشديد المسبق غير الأمثل (انظر البند 4.4.1.7)؛
- حالات الانحطاط الناتجة عن عدم تراصف طول (أطوال) الموجات في قسم الخط الرقمي البحري (انظر البند 5.4.1.7)؛
- حالات الانحطاط الناشئة عن الإشراف (انظر البند 6.4.1.7)؛
- حالات انحطاط ناشئة عن التصنيع وعن البيئة (انظر البند 7.4.1.7)؛
- يتعين أن تراعي حالات الانحطاط الخصائص غير المثالية لأجهزة الإرسال المطرافية (المتصلة بحالات أداء عامل النوعية Q ظهراً لظهور هذه الأجهزة) (انظر البند 5.1.7) ← حساب عامل نوعية Q القطعة.
- ينبغي إضافة بعض الهوامش الإضافية (انظر البند 6.1.7) فيما يتعلق تحديداً بموازنة قدرة نهاية العمر (EOL) ← هامش القطعة.
- هوامش ناشئة عن عمليات تصليح معينة (وصلات التصليح الجدولة، الخسارة الإضافية والتغيير في خريطة التشتت بسبب زيادة طول الكبل بعد التصليح، إلخ.) (انظر البند 1.6.1.7)؛

- هوامش يسببها تقادم الكبل والمكونات (انظر البند 2.6.1.7)؛

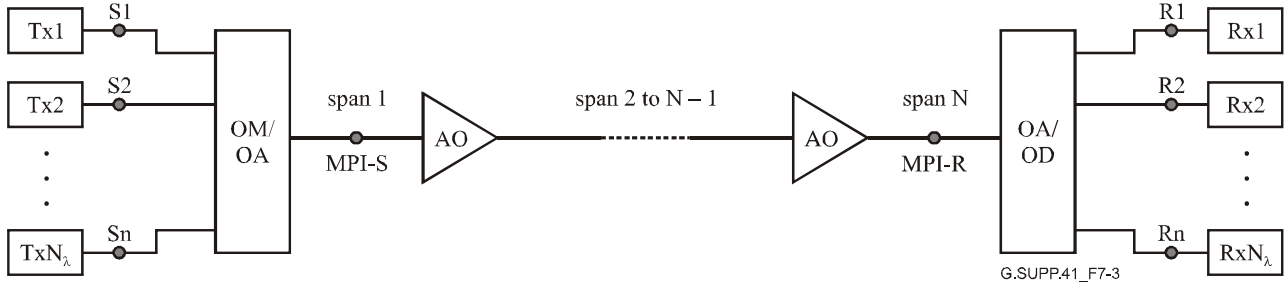
- هوامش ناجمة عن حالات عطب متوقعة لبعض المكونات، من قبيل حالات عطب ليزر المضخة (انظر البند 3.6.1.7)؛

أما التشكيل المتقاطع الأطوار وخلط الموجات الأربع بين القنوات البصرية وانتشار رامان المستحث وعدم تسطح منحنى الكسب التراكمي والقدرات النسبية غير المثلى للقنوات البصرية فهي حالات انحطاط تنطبق بوجه خاص على أنظمة تعدد الإرسال بتقاسم طول الموجات (WDM) وأنظمة تعدد الإرسال بتقاسم مكثف لطول الموجات (DWDM) لأنها تُعنى بالانتشار المتزامن لعدة إشارات بصرية على نفس الليفة.

### 3.1.7 تراكم الضوضاء البصرية

#### 1.3.1.7 حساب نسبة الإشارة إلى الضوضاء البصرية

تتراكم ضوضاء الإرسال التلقائي المضخم (ASE) بفعل مساهمة كل مضخم بصري في أي نظام يشتمل على سلسلة مشلسلة من المضخمات البصرية. وتقل نسبة الإشارة إلى الضوضاء البصرية (OSNR) بعد مرورها من خلال كل مضخم بصري. وهكذا، فإن النسبة OSNR هي معلمة مفيدة في مراقبة أداء المضخم البصري وتحديد خصائصه. ويوضح الشكل 3-7 نظاماً متعدد القنوات نستعمله كمقياس (المدى N، مكبرات خطية 1-N).



الشكل 3-7 - تمثيل السطوح البينية للنظام الخطي البصري  
(نظام متعدد القنوات بالمدى N)

توجد طريقتان مختلفتان لحساب نسبة الإشارة إلى الضوضاء البصرية (OSNR)، وهما:

(i) تراكم ضوضاء بسيط بقدرة ثابتة للإشارة؛

(ii) أو تراكم ضوضاء بإجمالي قدرة إخراج ثابتة.

وحتى إن كان أكثر الافتراضات واقعية هو البند (ii)، فإن المعادلة المتأتية من الفرضية (i) هي معادلة تقريبية جيدة للبند (ii) كما أنها تُستعمل على نطاق واسع.

وسنقدم في هذه الفقرة البند (i): تبقى قدرة الإشارة دون تغيير.

وفيما يتعلق بالنظام المبين في الشكل 3-7، فقد طُرحت الافتراضات الرئيسية التالية:

- لجميع المضخمات البصرية التي تحتويها السلسلة نفس عامل الضوضاء (NF).
- تساوي خسائر جميع المديات.
- تماثل مجموع قدرات إخراج جميع مضخمات الإشارة المتوافقة.

وفي هذه الحالة، يمكن تقريب نسبة الإشارة إلى الضوضاء البصرية (OSNR) عند إدخال المستقبلات (النقطة  $R_i$  في الشكل 3-7،  $i = 1, \dots, n$ ) هي نسبة يمكن تقريبها بالمعادلة التالية:

$$OSNR = \frac{P_{out}}{N_{\lambda} \cdot N_{amp} \cdot NF - \frac{1}{G} \cdot G \cdot h\nu \cdot B_r}$$

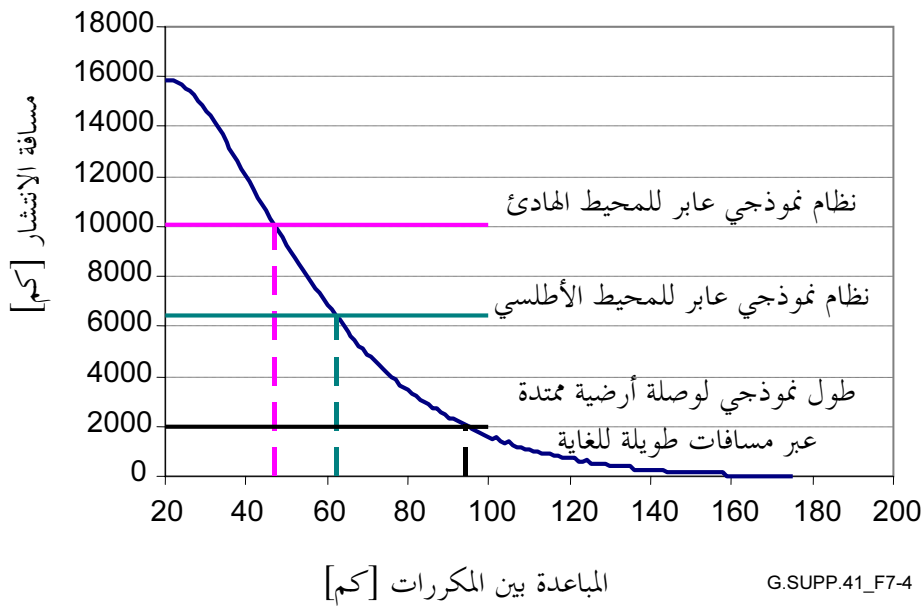
(7-7)

حيث إن  $P_{out}$  هو مجموع قدرة إخراج المضخم في  $W$ ، و  $G$  هو كسب المضخم (الذي يُفترض أن يكون مساوياً لإجمالي خسائر المديات)، و  $NF$  هو عامل الضوضاء الخاص بالمضخم البصري، و  $h$  هو ثابت بلانك في  $J \cdot s$  و  $\nu$  هو التردد البصري في  $Hz$ ، و  $B_r$  هو عرض النطاق المرجعي البصري في  $Hz$ ، و  $N_{\lambda}$  هو العدد الإجمالي لأطوال الموجات و  $N_{amp}$  هو العدد الإجمالي للمضخمات. وتبين المعادلة 7-7 أن ضوضاء الإرسال التلقائي المضخم (ASE) تتراكم من خلال تواردها من جميع المضخمات  $N_{amp}$ . وإذا كان كسب المضخمات الخطية عال جداً، أي  $G \gg 1$ ، فإنه يمكن تبسيط المعادلة 7-7 إلى المعادلة التالية:

$$OSNR = \frac{P_{out}}{N_{\lambda} \cdot N_{amp} \cdot NF \cdot G \cdot h\nu \cdot B_r}$$

(8-7)

حيث يكون الكسب  $G$  مساوياً للقيمة  $e^{\alpha L}$ ، ويكون  $L$  هو طول المدى. ونتيجة لذلك، فإنه يتعلق بنسبة معينة للإشارة إلى الضوضاء البصرية (OSNR) يكون الطول الكلي الذي يمكن بلوغه بمثابة دالة على طول المدى. ويوضح الشكل 4-7 مثلاً على أطوال المديات النموذجية للأنظمة البحرية والأرضية العادية.



ملاحظة - الملمات المستعملة هي كالتالي:  $OSNR = 16 \text{ dB}$  في عرض نطاق مرجعي  $B_r = 0,1 \text{ nm}$   
 $NF = 4,7 \text{ dB}$ ،  $N_{\lambda} = 64$  قناة، و  $P_{out} = 14 \text{ dBm}$  وتوهين الليفة  $\alpha = 0,21 \text{ dB/km}$ .

الشكل 4-7 - مثال على المباعدة بين المكررات اللازمة لبلوغ الإرسال البحري والأرضي مسافات نموذجية

وفي حال كان النظام غير مكرر ولا يحوي سوى مضخم سابق، يمكن تعديل المعادلة 7-8 لتصبح كما يلي:

$$OSNR = \frac{P_{out}}{N_{\lambda} \cdot NF \cdot G_{pre-amplifier} \cdot h\nu \cdot B_r}$$

(9-7)

حيث يكون  $L$  هو طول الكبل بالكيلومترات و  $\alpha$  هو مجموع خسارته محسوبة بالوحدة  $1/\text{km}$ .

أما في حالة الأنظمة غير المكررة التي لديها تضخيم عن بعد ومضخم تعزيز أحادي في المرسل، فإن بالإمكان تعديل المعادلة 7-7 لتصبح كما يلي:

$$OSNR = \frac{P_{Trans} \cdot e^{-\alpha L}}{N_{\lambda} \cdot h\nu \cdot B_r \cdot \left( NF_1 + \frac{NF_2}{G_1} \right)} \quad (10-7)$$

حيث  $L$  هو الطول الكلي للكبل بالكيلومترات و  $\alpha$  هو مجموع خسارته محسوبة بالوحدة  $1/\text{km}$  و  $P_{Trans}$  هي قدرة إخراج المرسل (نقطة السطح البيني المتعدد المسيرات في المرسل (MPI-S) المبينة في الشكل (3-7)  $NF_1$  و  $NF_2$  هما عاملا الضوضاء المضخم البعيد ومضخم التعزيز، و  $G_1$  هو كسب المضخم البعيد.

ويتعين مواصلة البحث فيما يتعلق بحالة الأنظمة البحرية غير المكررة بتضخيم رامان.

### 2.3.1.7 حساب عامل النوعية (Q)

عند إهمال الضوضاء الحرارية وضوضاء الإطلاق اللتين يحدثهما المستقبل وتطبيق القيم التقريبية الواردة في البند 1.1.7، فإن عامل النوعية (Q) الخطي النظري يمكن تقديره بواسطة العلاقة التالية:

$$Q_{lin} = \frac{\frac{2M \cdot OSNR \cdot (1 - ER)}{1 + ER} \sqrt{\frac{B_r}{B_e}}}{\sqrt{1 + \frac{4M \cdot ER \cdot OSNR}{1 + ER}} + \sqrt{1 + \frac{4M \cdot OSNR}{1 + ER}}} \quad (11-7)$$

حيث  $OSNR$  هي نسبة الإشارة إلى الضوضاء البصرية ويُعبر عنها بعرض النطاق البصري  $B_r$ ، و  $ER$  هي نسبة خمود المرسل معبراً عنها بوحدات خطية و  $B_e$  هو عرض النطاق الكهربائي للمستقبل في Hz، و  $B_r$  هو عرض النطاق البصري للمستقبل في Hz، و  $M$  هو معامل متعلق بنسق التشكيل ( $M = 1$  بالنسبة للعودة إلى الصفر (NRZ)،  $M \sim 1.4$  بالنسبة للعودة إلى الصفر (RZ) [3]). ومن الجدير بالذكر أن المعامل  $M$  يعتمد أيضاً على معلمة نسبة الخمود.

### 4.1.7 حالات انحطاط الانتشار

تسبب حالات انحطاط الانتشار إعاقات إضافية بالمقارنة مع متوسط قيمة عامل النوعية (Q) المحسوب بموجب اعتبارات بسيطة لتراكم ضوضاء الإرسال التلقائي المضخم (ASE). وينبغي أن تُخصم من متوسط عامل النوعية (Q) للحصول على قيمة خطية لهذا العامل (Q) (انظر الشكل 1-7).

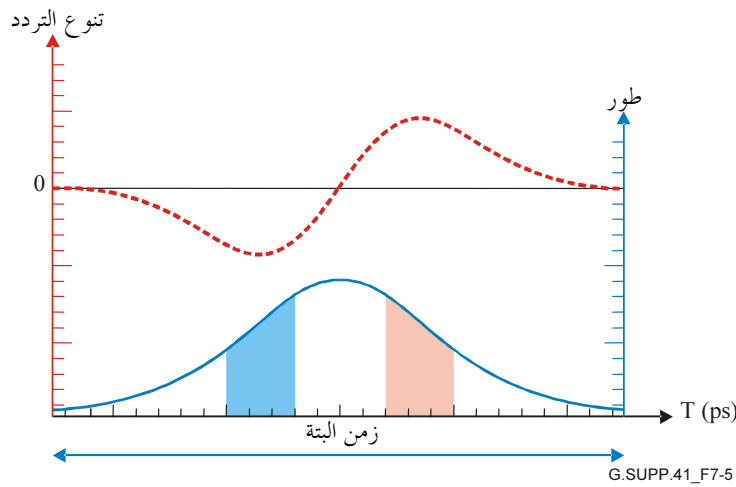
#### 1.4.1.7 حالات انحطاط انتشار ناجمة عن آثار غير خطية

تبدأ التفاعلات غير الخطية بين الإشارة ووسط الإرسال بالظهور عندما تصبح كثافة قدرة الإشارة البصرية عالية. ومن الجدير بالذكر أن قدرة الإشارة البصرية ضرورية من أجل الحصول على قيمة مقبولة لنسبة الإشارة إلى الضوضاء البصرية (OSNR) من دون تقصير أطوال المدى. ولذلك، تحظى لا خطية الألياف باهتمام كبير في الأنظمة عالية القدرة وفي طرق التسيير الطويلة من دون إعادة توليد كهربائي على حد سواء ولا سيما في حالة الوصلات البحرية الطويلة المضخمة بصرياً. ويمكن عموماً تمييز نوعين من اللاخطيات، وهما: لا خطية تتعلق بدليل انكسار يعتمد على كثافة الليفة والمعروفة باسم أثر كير (Kerr) (تشكيل ذاتي الطور وتشكيل متقاطع الأطوار وخلق الموجات الأربع) ولا خطية ذات صلة بآثار الانتثار (وخصوصاً انتشار رامان المستحث). وتؤثر عدة معلمات على شدة هذه الآثار اللاخطية، وهي تشمل خصائص تشتت الألياف والمساحة الفعالة ودليل انكسار الألياف انكساراً لا خطياً وعدد القنوات ومسافات المباعدة بينها في أنظمة تعدد الإرسال بتقاسم طول الموجات (WDM) إلى جانب شدة الإشارة ومعدل المعطيات. ويرد وصف لهذه الآثار غير الخطية في التذييل الثاني/التوصية G.663. ويرد في البنود 1.1.4.1.7 و 2.1.4.1.7 و 3.1.4.1.7 و 4.1.4.1.7 استعراض للآثار غير الخطية الرئيسية.

### 1.1.4.1.7 التشكيل الذاتي الطور (SPM)

يستند النص التالي إلى البند 1.3.II/التوصية G.663 وهو منسوخ في هذا الموضوع لإفادة القارئ. وبالنظر إلى أن دليل انكسار الألياف يعتمد على شدة الإشارة البصرية، فإن تباين شدة الإشارة البصرية من حيث الزمن يسبب تشكياً ذاتي الطور. ويدعى هذا الأثر التشكيل الذاتي الطور (SPM).

ويعمل التشكيل الذاتي الطور (SPM) في أنظمة الإرسال البصري على توسيع نطاق طيف الإشارة تدريجياً بسبب تغير الطور الناجم عن تباين شدة الإشارة البصرية (انظر الشكل 5-7). وبوجود هذا التوسيع الطيفي الذي يحدثه التشكيل الذاتي الطور (SPM)، تشهد الإشارة المزيد من التوسيع في نطاقها الزمني وتنتشر في نفس الوقت على امتداد الليفة، بفعل آثار التشتت اللوني، في منطقة التشتت العادية لليفة (أي طول موجة التشتت دون الصفر). وبخلاف ذلك، يمكن أن يعوض التشتت اللوني والتشكيل الذاتي الطور (SPM) بعضهما البعض في منطقة التشتت غير العادية، مما يؤدي إلى تقليل توسيع النطاق الزمني. ويستند انتشار الموجات الوحيدة (soliton) المعروف جيداً إلى هذه الظاهرة.



الشكل 5-7 - التباين الزمني لرحضة الطور وتنوع التردد المستحث بفعل التشكيل الذاتي الطور (SPM) [4]

وعموماً، لا تكتسي آثار التشكيل الذاتي الطور (SPM) أهمية سوى في الأنظمة التي تبدي تشتتاً تراكمياً عالياً أو فيها امتدادات طويلة للغاية مثل الأنظمة البحرية المضخمة بصرياً. وقد لا تسمح الأنظمة التي تعمل بنظام تشتت عادي وتكون محددة بهذا التشتت الآثار الإضافية الناجمة عن هذا التشكيل (SPM). كما يمكن أن يؤدي توسيع النطاق الطيفي المستحث بالتشكيل SPM إلى حصول تداخل بين القنوات المتجاورة في أنظمة تعدد الإرسال بتقاسم طول الموجات (WDM) التي تكون فيها المباعدة بين هذه القنوات صغيرة جداً. ويمكن أيضاً أن يسبب أثر هذا التشكيل (SPM) الخطأ عند اقترانه بترشيح بصري ضيق النطاق. ولا يتأثر التشكيل الذاتي الطور (SPM) بزيادة حالات عد القنوات لأنه أساساً تشكيل بأثر أحادي القناة. وترداد إعاقه تشوه التشكيل SPM بتعاظم قدرات القنوات المطلقة. وتعاظم هذه الإعاقه أيضاً بارتفاع معدل بتات القنوات، لأن الإشارات ذات معدلات البتات الأعلى لها حالات ميل أعلى مرتفعة/هابطة.

وبالإمكان التخفيف من آثار التشكيل الذاتي الطور (SPM) عن طريق التشغيل بأطوال موجات تتجاوز طول الموجات التشتت الصفري للألياف المحددة في التوصية G.655 الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات (ITU-T). وتعمل أيضاً الألياف ذات النعوت التي تتضمن مساحة فعالة زائدة للألياف، أو دليل انكسار منخفض غير خطي، على الحد من إعاقه التشكيل الذاتي الطور (SPM). ويمكن تقليل آثار هذا التشكيل (SPM) في جميع تصاميم الألياف بخفض قدرات القنوات المطلقة، بالرغم من أن اتجاهات تصميم الأنظمة تتطلب قدرات أكبر لإفساح المجال أمام تطويل مسافات المدى.

### 2.1.4.1.7 التشكيل المتقاطع الأطوار (XPM)

يستند النص التالي إلى البند 3.3.II/التوصية G.663 وهو منسوخ في هذا الموضوع لإفادة القارئ. ويعمل التشكيل المتقاطع الأطوار (XPM) في الأنظمة المتعددة القنوات على توسيع نطاق طيف الإشارة تدريجياً عندما يؤدي تطور الشدة البصرية الزمنية إلى حصول تغيرات في الطور بسبب التفاعلات بين القنوات المتجاورة. ومقدار التوسيع الطيفي الذي يحدثه التشكيل المتقاطع الأطوار (XPM) هو مقدار ذو صلة بالمباعدة بين القنوات والتشتت اللوني للألياف، لأن السرعات التفاضلية للمجموعات المستحثة بالتشتت تسبب فصل النبضات المتفاعلة لدى انتشارها أسفل الليفة. وحال حصول التوسيع الطيفي بفعل التشكيل المتقاطع الأطوار (XPM)، تشهد الإشارة المزيد من التوسيع في نطاقها الزمني عند انتشارها على طول الليفة نتيجة لآثار التشتت اللوني.

وتزداد إعاقة الأنظمة الناشئة عن التشكيل XPM بتناقص المباعدة بين القنوات. ومثلما لوحظ في التشكيل الذاتي الطور (SPM)، فإن التغير الطارئ على طور الإشارة يتعلق بالتغير في دليل انكسار الليفة، الذي يتصل بدوره بقدرة القناة. وتؤدي زيادة متوسط القدرات المطلقة إلى زيادة حالات زحزحة الطور، التي تؤدي إلى زيادة إعاقة النظام عند اقترانها بآثار التشتت.

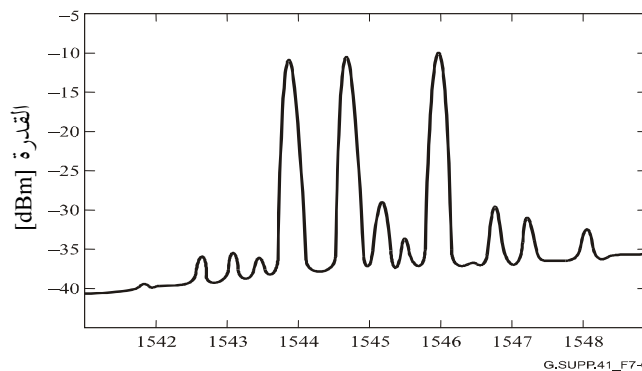
وتكتسي حالات الانحطاط المتأتمية من التشكيل المتقاطع الأطوار (XPM) أهمية أكبر في أنظمة الألياف المحددة في التوصية G.652 الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات (ITU-T)، والمتعلقة بأنظمة الألياف المحددة في التوصيتين G.653 و G.655 الصادرتين عن نفس القطاع. وقد يفرض التوسيع الناتج عن التشكيل XPM إلى تداخل بين القنوات المتجاورة في أنظمة تعدد الإرسال بتقاسم طول الموجات (WDM).

ويمكن تقليل آثار هذا التشكيل (XPM) في جميع تصاميم الألياف بخفض قدرات القنوات المطلقة، بالرغم من أن اتجاهات تصميم الأنظمة تتطلب قدرات أكبر لإتاحة إمكانية إطالة مسافات المدى.

### 3.1.4.1.7 خلط الموجات الأربع (FWM)

يستند النص التالي إلى البند 5.3.II/التوصية G.663 وهو منسوخ في هذا الموضوع لإفادة القارئ. ويحدث خلط الموجات الأربع (FWM)، الذي يعرف أيضاً باسم خلط الفوتونات الأربع، عندما يعمل التفاعل بين موجتين أو ثلاث موجات بصرية ذات أطوال موجات مختلفة على توليد موجات بصرية جديدة بأطوال موجات أخرى، تسمى نواتج الخلط أو نطاقات جانبية، ويحدث هذا التفاعل أساساً بين إشارات داخل أنظمة تعدد الإرسال بتقاسم طول الموجات (WDM).

وفي حالة التفاعل بين إشارتين، يعمل تشكيل شدتهما بتردد خفقاها على تشكيل دليل انكسار الليفة وينتج تشكيلاً للطور بتردد فرق معين. ويوجد تشكيل الطور هذا نطاقين جانبيين بترددتين يتأثبان من هذا الفرق. أما في حالة التفاعل بين ثلاث إشارات، فتُقدم فيه نواتج خلط أكثر وأقوى (انظر الشكل 6-7) تمبط مباشرة على قنوات الإشارة المجاورة عندما تكون المباعدة بين القنوات متساوية من حيث التردد. وتُحدث موجتان بصريتان تنتشران على امتداد ليفة ما خلطاً للموجات الأربع (FWM) بكفاءة عالية إذا استوفي شرط مواعمة الطور بين النطاقات الجانبية والإشارات الأولية.



ملاحظة - D = 0,2 ps/nm.km في القناة المركزية عند استعمال القنوات 3-mW [5].

الشكل 6-7 - قياس طيف القدرة البصرية عند إخراج تشتت مزرح بطول 25 كم



ويمكن أن يؤدي توليد نطاقات جانبية لخلط الموجات الأربع (FWM) إلى استنفاد قدرة الإشارة بشكل كبير. وعلاوة على ذلك، وعندما تهب نواتج الخلط مباشرة على قنوات الإشارة، فإنها تسبب تداخلاً معلماً يظهر بشكل كسب أو خسارة اتساع في نبضة الإشارة، وذلك اعتماداً على تفاعل طور الإشارة والنطاق الجانبي.

ويسبب التداخل المعلمي غلق تتابع العين عند إخراج المستقبل، مما يؤدي إلى انحطاط أداء نسبة الخطأ في البتات (BER). وتحو الأنظمة المتعددة القنوات نحو زيادة حالات عد القنوات، التي تزيد عدد نواتج الخلط المحتملة الهابطة على قنوات الإشارة.

ويمكن تقليل إعاقات النظام المستحثة بفعل خلط الموجات الأربع (FWM) عن طريق زيادة المباعدة بين الترددات والتشتت اللوني من أجل حرق موائمة الطور بين الموجات المتفاعلة. ومع ذلك، فإن الأنظمة تنحو نحو تقليل المباعدة بين الترددات لإتاحة المزيد من القنوات لنفس عرض النطاق البصري. وبالإضافة إلى ذلك، فإن كفاءة خلط الموجات الأربع (FWM) تزداد أيضاً بزيادة قدرات القنوات المطلقة (وتزداد بالتالي بإعاقه النظام).

#### 4.1.4.1.7 انتشار رامان المستحث (SRS)

يستند النص التالي إلى البند 7.3.II/التوصية G.663 وهو منسوخ في هذا الموضوع لإفادة القارئ. وانتشار رامان المستحث (SRS) هو عبارة عن أثر عريض النطاق ينطوي على تفاعل الضوء وأساليب اهتزاز جزيئات مادة السليكا. ويسبب انتشار رامان المستحث (SRS) طول موجة إشارة ما إلى أن يسلك سلوك إحدى مضخات رامان في أطوال الموجات الأكبر، إما في قنوات إشارة أخرى أو في ضوء مزحج تلقائياً بانتشار رامان. وعلى أية حال، فإن إشارة طول الموجات الأقصر تتعرض للتوهين بفعل هذه العملية، الأمر الذي يضحّم إشارة طول الموجات الأكبر.

ويؤثر انتشار رامان المستحث (SRS)، بصفة رئيسية، على أنظمة تعدد الإرسال بتقاسم طول الموجات (WDM) ذات عرض النطاق الكبير. ويمكن أن تتعرض إشارات طول الموجات الأقصر في هذه الأنظمة (WDM) لانحطاط في أداء نسبة الإشارة إلى الضوضاء بسبب نقل جزء من قدرتها إلى قنوات ذات أطوال موجات أكبر بواسطة الانتثار SRS. ويؤدي هذا إلى فرض قيود على قدرة النظام ككل استناداً إلى مجموع عدد القنوات والمباعدة فيما بينها ومتوسط قدرة الإدخال والطول الكلي للنظام.

ولم يُبلغ عن أية تقنية عملية لإزالة آثار انتشار رامان المستحث (SRS) في أنظمة تعدد الإرسال بتقاسم طول الموجات (WDM). ويمكن استعمال مرشاح كسب لتصحيح ميل نسبة الإشارة إلى الضوضاء البصرية (OSNR) التي يسببها الانتثار SRS. كما يمكن تخفيف آثار هذا الانتثار بخفض قدرة الإدخال البصرية.

#### 5.1.4.1.7 وقع الآثار غير الخطية

يتأثر عموماً أي نظام للإرسال عالي السرعة ومتعدد المديات يكون فيه التعويض عن التشتت كاملاً بأي ظاهرة بصرية غير خطية من قبيل التشكيل الذاتي الطور (SPM) في الأنظمة أحادية القناة أو التشكيل المتقاطع الأطوار (XPM) وخلط الموجات الأربع (FWM) في أنظمة تعدد الإرسال بتقاسم طول الموجات (WDM). ويتعاطم تأثر النظام بتعاظم قدرة الإدخال البصرية. ونتيجة لذلك، يمكن أن يتعرض أداء النظام إلى انحطاط شديد بفعل هذه الآثار غير الخطية، وذلك في حال أصبحت قدرة الإدخال البصرية ليفة عالية جداً.

ويُقيّم عادة وقع الآثار غير الخطية على أنظمة تعدد الإرسال بتقاسم طول الموجات (WDM) بواسطة أدوات محاكاة عددية تستند إلى طريقة فورييه (Fourier) المعنية بفصل الخطوات [4]. ويتم التثبت من صحة النتائج في أغلب الأحيان بأدوات تجريبية مثل عروة إعادة التدوير [6] أو فرشة الاختبار.

ويتعرض أداء النظام للانحطاط بشكل واضح عندما تكون قدرة الإدخال البصرية منخفضة بسبب انخفاض نسبة الإشارة إلى الضوضاء البصرية المستقبلية في نهاية خط الإرسال (انظر البند 3.1.7).

ولذلك، يتعين إيجاد تسوية بين قدرات الإدخال المنخفضة (تقييد نسبة الإشارة إلى الضوضاء البصرية (OSNR)) وقدرات الإدخال المرتفعة (تقييد الآثار غير الخطية). وروعت الجوانب التالية لإيجاد نقطة التشغيل المثلى من أجل ضمان أداء النظام على أتم وجه، وهي:

- نوع الليفة المستعملة في الإرسال؛
- مخطط تعويض التشتت؛
- طول المدى؛
- قدرة الإخراج البصرية في الخط؛
- المباعدة بين القنوات.

#### 6.1.4.1.7 استنتاجات

يتعذر انتقاء قيمة وحيدة للحد الأدنى لقدرة الإدخال البصرية لبلوغ عامل نوعية (Q) معين، من 7 مثلاً. وبين هذا الحد الأدنى للقيمة والحد الأقصى لقيمة القدرة اللذين يمكن بلوغهما قبل حصول إعاقة غير خطية كبيرة، فإن بإمكان المرء أن يحدد المنطقة التي يكون فيها أداء نظام ما أفضل ما يمكن وذلك بواسطة عمليات محاكاة تمهيدية مع معلمات النظام المرغوب فيها (نوع الليفة، تعويض التشتت، المباعدة بين المضخمات، المباعدة بين القنوات، وما إلى ذلك).

#### 2.4.1.7 حالات الخطاط الانتشار الناجمة عن آثار الاستقطاب البصري

يستند النص التالي إلى البند 1.4.II/التوصية G.663 وهو منسوخ في هذا الموضوع لإفادة القارئ. ومن المعروف جيداً أن المكونات والأنظمة الفرعية البصرية حساسة نوعاً ما لحالة استقطاب الإشارة البصرية. ويمكن تقسيم آثار الاستقطاب هذه إلى 3 أجزاء كما يلي:

- تشتت أسلوب الاستقطاب: (PMD)؛
- خسارة معتمدة على الاستقطاب: (PDL)؛
- كسب معتمد على الاستقطاب: (PDG).

ويرد وصف مفصل لهذه المواضيع في التوصيات G.663 و G.671 و G.650.2 الصادررة عن قطاع تقييس الاتصالات (ITU-T) وفي النشرة 3-61282 الصادررة عن اللجنة الكهروتقنية الدولية (IEC).

وتسبب هذه الآثار كافة بعض الإعاقات في الإشارة البصرية ولا بد من مراعاتها في التصميم الخطي لأنظمة الإرسال البحرية البصرية. وهي تعتمد تحديداً على الظروف الخارجية مثل درجة الحرارة التي تؤدي إلى تغير الأداء بتغير الزمن. ويوصى بإتباع نهج إحصائي لحساب الإعاقات التي تسببها هذه الآثار.

#### 1.2.4.1.7 تشتت أسلوب الاستقطاب (PMD)

يسبب الانكسار المزدوج لليفة البصرية، الناجم عن عدم انتظام الخواص الهندسية الذي يحدث أثناء عملية تصنيع الليفة، تغييراً في زمن انتشارها الذي يعتمد على حالة الاستقطاب (SOP). وقيمة تشتت أسلوب الاستقطاب (PMD) هي عبارة عن متوسط المهلة الزمنية لانتشار المجموعة التفاضلية (DGD) بين أسلوبين مستقطبين بالتعامد، مما يؤدي إلى انتشار النبضة في أنظمة الإرسال البصرية. ويستند النص التالي إلى الإضافة 39 لتوصيات السلسلة G الصادررة عن قطاع تقييس الاتصالات (ITU-T) وقد نُسخ في هذا الموضوع من أجل إفادة القارئ.

وتباين قيمة المهلة الزمنية لانتشار المجموعة التفاضلية (DGD) تبايناً عشوائياً من حيث الزمن واصفة توزيع ماكسويل (Maxwell) الذي يتسم بتشتت أسلوب الاستقطاب (PMD). ويرتبط تشتت أسلوب استقطاب (PMD) كبل معين ذي ألياف بصرية أيضاً بسلوك إحصائي يمكن بتشتت أسلوب استقطاب عناصر أخرى تكون الوصلة من أجل تعيين الحد الأقصى للمهلة الزمنية لانتشار المجموعة التفاضلية (DGD) المعين على أنه أحد حدود الاحتمال. انظر التذييل الأول/التوصية G.650.2 والتذييل الثاني/التوصية G.663 للاطلاع على الوصف الوارد فيهما للمواصفات الإحصائية لتشتت أسلوب استقطاب (PMD) كبلات الألياف البصرية، هذا من جهة. ومن جهة أخرى، تتضمن التوصية G.671 الصادررة عن قطاع تقييس

الاتصالات (ITU-T) وصفاً لكيفية ضم مواصفات تشتت أسلوب استقطاب (PMD) لعناصر وصل أخرى إلى مواصفات كبلات الألياف البصرية لتعيين حد أقصى مختلط للمهلة الزمنية لانتشار المجموعة التفاضلية (DGD) لهذه الوصلة.

$$(12-7) \quad DGD_{\max link} = \left[ DGD_{\max F}^2 + S^2 \sum_i PMD_{Ci}^2 \right]^{1/2}$$

حيث:

$DGD_{\max link}$  هو الحد الأقصى للمهلة الزمنية لانتشار المجموعة التفاضلية (DGD) للوصلة (ps)؛

$DGD_{\max F}$  الحد الأقصى للمهلة الزمنية لانتشار المجموعة التفاضلية (DGD) المتحصل عليه بعد تفريع كبل بألياف بصرية (ps)؛

$S$  هو عامل ضبط توزيع ماكسويل (Maxwell)؛

$PMD_{Ci}$  قيمة تشتت أسلوب استقطاب (PMD) المكون  $i$ th (ps).

وتفترض المعادلة 12-7 أنه بالإمكان تقريب إحصاءات المهلة الزمنية الفورية لانتشار المجموعة التفاضلية (DGD) بواسطة توزيع ماكسويل (Maxwell)، وأن التحكم في احتمال تجاوز هذه المهلة الفورية (DGD) الحد الأقصى للمهلة الزمنية لانتشار المجموعة التفاضلية (DGD) المعين للوصلة ( $DGD_{\max link}$ ) هو تحكم يتم بواسطة قيمة عامل ضبط توزيع ماكسويل (Maxwell) المأخوذة من الجدول 1-7.

#### الجدول 1-7 - متوسطات واحتمالات المهلة DGD المحالة إلى التوصية G.959.1 الصادرة عن القطاع ITU-T

نسبة الحد الأقصى إلى المتوسط	احتمال تجاوز الحد الأقصى
3,0	$4,2 \times 10^{-5}$
3,5	$7,7 \times 10^{-7}$
4,0	$7,4 \times 10^{-9}$

ولذلك، إذا عرفنا الحد الأقصى للمهلة DGD الذي يمكن أن يسمح به النظام، فإن بإمكاننا استنباط المتوسط المكافئ لهذه المهلة (DGD) عن طريق قسمة الحد الأقصى للمهلة الزمنية لانتشار المجموعة التفاضلية ( $DGD_{\max}$ ) على نسبة الحد الأقصى إلى المتوسط الذي يناسب احتمالاً مقبولاً.

انظر الإضافة 39 لتوصيات السلسلة G والتوصية G.959.1 الصادرتين عن قطاع تقييس الاتصالات (ITU-T) للاطلاع على المزيد من التفاصيل التي تشمل حساب الحد الأقصى للمهلة الزمنية لانتشار المجموعة التفاضلية (DGD) لما مقداره 30 ps في تطبيق معين يتعلق بالعودة إلى الصفر (NRZ) يعمل بمعدل 10 جيجابت/ثانية باحتمال قدره  $1 \times 10^{-5}$ .

#### إعاقة قدرة تشتت أسلوب الاستقطاب (PMD)

إن إعاقة القدرة الذي تستحثه المهلة الزمنية لانتشار المجموعة التفاضلية (DGD) عند نقطة المستقبل R (انظر الشكل 3-7) هو دالة على القدرة النسبية لأسلوب استقطاب تعامدين، وذلك حسبما أوضح في الإضافة 39 لتوصيات السلسلة G الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات (ITU-T). ويختلف زمن هذه الفجوة بسبب اختلاف التراصيف النسبي للحالات الاستقطاب الرئيسية داخل كبل الألياف البصرية واستقطاب المصدر. ويُعين الحد الأقصى للمهلة الزمنية لانتشار المجموعة التفاضلية (DGD) للوصلة لعدم السماح سوى بإعاقة قدرة معينة برتبة أولى في نسبة فصل القدرة في أسوأ الحالات (بقدرة متساوية في الأسلوبين على حد سواء). وتتأثر أيضاً بإعاقة القدرة ذات الرتبة الأولى في أسوأ الحالات بنسق إرسال العودة إلى الصفر (NRZ) أو نسق العودة إلى الصفر (RZ).

وفيما يتعلق بتطبيقات الالعودة إلى الصفر (NRZ) التي تعمل بمعدل 10 جيجابت/ثانية (المحالة إلى التذييل الأول/التوصية G.691 والتوصية G.959.1 الصادرتين عن قطاع تقييس الاتصالات (ITU-T))، فإن التفاوت المسموح به في الإعاقة من الرتبة الأولى بمقدار dB-1 يناسب حداً قدره ps-30 مفروضاً على المهلة DGD عند النقطة R.

أما حالة العودة إلى الصفر (RZ) فهي قيد المزيد من البحث.

#### 2.2.4.1.7 الخسارة المعتمدة على الاستقطاب (PDL)

الخسارة المعتمدة على الاستقطاب (PDL) هي خسارة محددة في التوصية G.671 الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات (ITU-T) بوصفها الحد الأقصى لتباين خسارة الإدراج الناجمة عن تباين حالة الاستقطاب (SOP) عبر جميع حالات الاستقطاب (SOP). ويعمل أسلوب واحد لمراقبة المضخم بقدرة ثابتة للإشارة في الأنظمة المضخمة. وتتأثر الإشارة والضوضاء على حد سواء بالخسائر المعتمدة على الاستقطاب. ومع ذلك، فإنهما تتأثران بدرجة مختلفة لأن الضوضاء لا تتعرض للاستقطاب. ويمكن تحليل الضوضاء إلى مكون يوازي الإشارة وآخر يتعامد معها. وبالإمكان إثبات أن الأثر المختلط للخسارة المعتمدة على الاستقطاب (PDL) والتضخيم البصري يؤدي دوماً إلى زيادة مكون الضوضاء المتعامد مع الإشارة. وعلاوة على ذلك، يتغير حجم هذا المكون بمرور الزمن لأن استقطاب الإشارة يتغير بسبب تشتت أسلوب الاستقطاب. ويؤدي ذلك إلى انخفاض نسبة الإشارة إلى الضوضاء البصرية (OSNR) وقيمة عامل النوعية (Q) في المستقبل. وبالإضافة إلى ذلك، يؤدي زمن التقلبات إلى حبو هذه النسبة (OSNR) والقيمة (Q) في المستقبل، اللذين يؤديان على حد سواء إلى انحطاط أداء النظام.

ويمكن تقليل إعاقة النظام المستحثة بفعل تراكم الخسارة المعتمدة على الاستقطاب (PDL) لكل مكون بصري من خلال تقليل الخسارة PDL إلى أدنى حد لكل مكون من هذه المكونات. ومن الجدير بالذكر أن أثر هذه الخسارة (PDL) على أداء النظام يتعاظم بزيادة عدد المضخمات. ومتطلبات الأنظمة البحرية الطويلة غاية في التشدد لأن عدد المضخمات يمكن أن يبلغ عدة مئات. وقد ثبت أن تشكيل الاستقطاب أو الانتثار يحسن أداء النظام عن طريق تقليل التقلبات وتحسين متوسط عامل النوعية (Q).

#### 3.2.4.1.7 الكسب المعتمد على الاستقطاب (PDG)

الكسب المعتمد على الاستقطاب (PDG) هو كسب محدد في التوصية G.661 الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات (ITU-T) على أنه الحد الأقصى لتباين الكسب الناتج عن تباين حالة استقطاب إشارة الدخول في ظل ظروف تشغيل اسمية. وتخضع إعاقات النظام التي يستحثها هذا الكسب (PDG) للمزيد من البحث.

#### 3.4.1.7 حالات انحطاط ناجمة عن عدم تسطح منحنى الكسب التراكمي

ترتبط حالات الانحطاط الناجمة عن عدم تسطح منحنى الكسب التراكمي بانحطاط التشديد المسبق غير الأمثل (انظر البند 4.4.1.7).

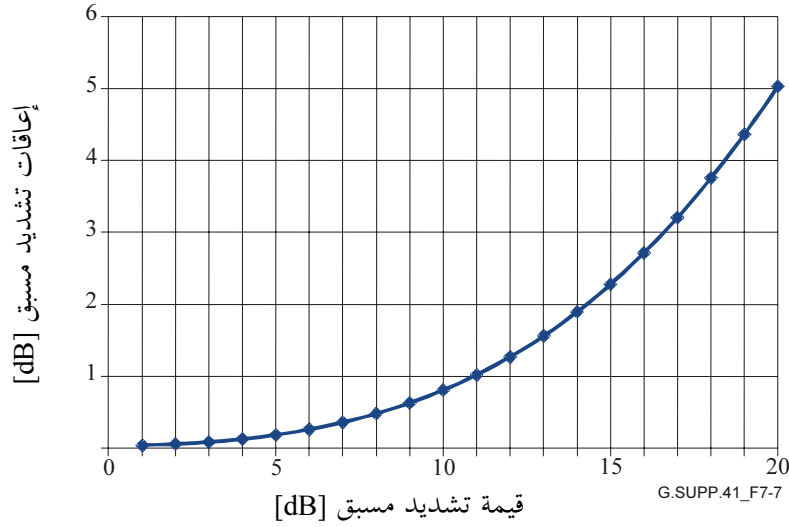
#### 4.4.1.7 انحطاط التشديد المسبق غير الأمثل

يمكن استعمال التكافؤ المسبق أو التشديد المسبق في السطح البيني المتعدد المسيرات في المرسل (MPI-S) لتخفيف أثر مقدار التباين في كسب مضخم الإشارة وميل الكسب الذي يمكن أن يحدث أثناء الانتشار في النظام.

ويعوض التشديد المسبق على نحو جزئي التباين في كسب المضخم وميل الكسب من خلال تطبيق المخطط التالي:

تُخصص أعلى قدرة بصرية في السطح البيني المتعدد المسيرات في المرسل (MPI-S) للقناة التي يكون فيها مستوى كسب مضخم الإشارة أدنى ما يمكن، بينما تُخصص أقل قدرة بصرية في هذا السطح البيني (MPI-S) للقناة التي يكون فيها مستوى كسب مضخم الإشارة أعلى ما يمكن. ويُسمى الفارق بين قيمتي القدرتين البصريتين العليا والدنيا قيمة التشديد المسبق لكل طول موجة.

وهكذا، فإن التشديد المسبق لقدرة القناة يتيح تحقيق تساوي أداء إرسال النظام في جميع القنوات. ومع ذلك، ونظراً لاختلاف مستوى القدرة في كل قناة، سيستحث الانتشار في ليفة بصرية معينة حدوث إعاقات إضافية (انظر الشكل 7-7).



الشكل 7-7 - مثال على إعاقات يستحثها تعديل التشديد المسبق

#### 5.4.1.7 حالات انحطاط ناجمة عن إساءة توافق طول (أطوال) الموجات

يمكن أن ينشأ قدر من الانحطاط الإضافي عن حالات إساءة توافق أطوال موجات الإشارة أو جميع المكونات البصرية المسؤولة عن أداء وظيفة ترشيح معينة (المرشح البصرية ومعدلات الإرسال وأجهزة إزالة تعدد الإرسال). ويمكن مثلاً أن تؤدي زحزحة طول موجة ما بين ليزر معين والنقطة الواقعة في منتصف عرض نطاق معدد إرسال مقابل إلى وقوع خسائر إضافية تسبب في انحطاط عامل النوعية (Q).

#### 6.4.1.7 حالات انحطاط يسببها الإشراف

هذه الحالات ذات صلة باستعمال التحكمات البصرية المرسله عبر الخط إلى أجهزة إشراف معينة مغمورة تحت سطح الماء. ويمكن مثلاً استنطاق معظم المكررات المستخدمة في الأنظمة البحرية وتوفير الإجابة اللازمة عن طريق تشكيل الإشارة البصرية بتردد منخفض. ويتسم حجم التشكيل هذا بأنه صغير بالمقارنة مع حجم تشكيل المعطيات لكي يكون تأثيره على أداء الإشارة في أدنى مستوى ممكن. وتقيّم حالات الانحطاط الناشئة عن هذا التشكيل الإضافي وتراعى في تقدير نوعية (Q) الخط.

#### 7.4.1.7 حالات انحطاط الإنتاج الصناعي والانحطاط البيئي

لا يمكننا أن نكفل أثناء عملية التصنيع أن تسلك جميع الأجهزة المصنعة نفس السلوك تماماً، أو بعبارة أخرى، أن يكون أداؤها متطابقاً. ولذلك، ينبغي تخصيص بعض حالات الانحطاط لمراعاة التباين في أداء الإرسال الناجم عن هذه الاختلافات. ويتعلق هذا البند أيضاً باختلاف الظروف البيئية الذي يمكن أن يحدث في النظام (مثل درجتي الحرارة والضغط).

#### 5.1.7 حالات انحطاط تسببها عيوب في أجهزة الإرسال المطرفية

يُعبّر عادة عن حالات الانحطاط التي تسببها أجهزة الإرسال المطرفية عن طريق قياس عامل النوعية (Q) عندما يكون المرسل والمستقبل مرتبين بتشكيلة ظهراً لظهور. ومن الضروري أخذ الخصائص الحقيقية للمرسل والمستقبل في الحسبان من أجل حساب عامل النوعية (Q) الحقيقي لكامل القطعة. وتُستعمل في الحساب المعادلة التالية:

$$(13-7) \quad \frac{1}{Q_{\text{Segment}}^2} = \frac{1}{Q_{\text{Line}}^2} + \frac{1}{Q_{\text{TTE back to back}}^2}$$

## 6.1.7 هوامش النظام

يبلغ عمر تصميم أي نظام بحري 25 عاماً. وينطوي عمر التصميم هذا على استيفاء هوامش إضافية معينة.

### 1.6.1.7 حالات انحطاط ناجمة عن عمليات التصليح

بعد مد الخط البحري، فإن تصليح الكبل يتطلب إضافة كبل إضافي معين في كل مرة. ويسبب هذا الكبل الإضافي تعاضم خسارة المدى ويؤدي بالتالي إلى انحطاط عامل النوعية (Q).

ويُقيم هامش عملية التصليح عن طريق تقدير مجموع عدد عمليات التصليح اللازمة طوال عمر النظام. ويُطبق عادة السيناريو التالي:

- تصليح الكبل البري: تصليح 1 كل 4 كم بحد أدنى قدره عمليتي تصليح؛

- تصليح في المياه الضحلة: تصليح 1 كل 15 كم بحد أدنى قدره 5 عمليات تصليح؛

- تصليح في المياه العميقة: تصليح 1 كل 1000 كم.

ويضيف كل تصليح قسم كبل معين يتناسب مباشرة مع عمق المياه في موقع التصليح. وعادة ما تتراوح الزيادة الحاصلة في طول الكبل بين 1,5 و 2,5 مرة من عمق المياه.

ومن أجل حساب الهامش اللازم لعمليات التصليح، يُقيم الطول الكلي للكبل الإضافي في أسوأ الحالات عندما تضاف جميع التصليحات المقدرة. ويُحسب عامل نوعية (Q) آخر مع حاصل جمع الطول الكلي للخط الأولي والحد الأقصى لطول الكبل المضاف بفعل عمليات التصليح. والفارق بين عامل النوعية (Q) هذا ومتوسط النوعية (Q) متوافق مع توزيع عمليات التصليح.

### 2.6.1.7 حالات انحطاط ناجمة عن تقادم الأجهزة

الانحطاط الناجم عن تقادم الأجهزة هو انحطاط تسببه الليفة أساساً. وفي الواقع، فإن توهين هذا الانحطاط يزداد ببطء بسبب الآثار المادية المتعلقة بالبيئة. ويؤخذ أثران منهم عادة بعين الاعتبار، هما:

- أثر الهيدروجين في الليفة: يُقرب الانحطاط عادة بخسارة إضافية بعد مرور 25 عاماً بحوالي 0,003 dB/km.

- أثر الإشعاع: تتحسس الألياف البصرية الخسارة الناجمة عن إشعاع الطاقة العالية (أشعة غاما) التي قد يكون منشؤها ذا صلة بالترسبات أو مياه البحر أو مصادر اصطناعية (موقع لرمي النفايات). وتُقدر زيادة الخسارة بأقل من 0,002 dB/km بعد مرور 25 عاماً.

وبنفس الطريقة المتبعة في عملية التصليح (انظر البند 1.6.1.7)، يُحسب عامل النوعية (Q) مع هذه الخسائر الإضافية ويُقارن بمتوسط قيمة النوعية (Q) من أجل الحصول على قيمة الهامش اللازمة لتقادم الأجهزة.

### 3.6.1.7 حالات انحطاط ناجمة عن أعطال متوقعة لبعض المكونات

بالنظر إلى تكلفة وتعقيد العمليات البحرية المتعلقة باستبدال وتصليح الأجهزة المغمورة تحت سطح الماء، تكون هناك وفرة في المكونات الغاية في الحساسية من أجل تفادي التدخلات قدر المستطاع. وحالات عطب مضخات المكررات هي حالات العطب الرئيسية التي يتعين مراعاتها. وتحول وفرة المضخات دون توقف قدرة الإخراج في حال عطب المضخة بيد أن هذا الحدث يسبب دواماً انحطاطاً في قدرة الإخراج وفي عامل الضوضاء مما يؤدي إلى تناقص عامل النوعية (Q). ويتوقف الهامش الإضافي اللازم لمراعاة هذا الأمر على مدى موثوقية المضخة وتشكيلة المضخات الإضافية.

### 4.6.1.7 الهوامش غير المخصصة

الهوامش الاحتياطية هي هوامش متبقية بعد مراعاة جميع هوامش التصليح في حالة نهاية عمر النظام. ويمكن أن تطلب الجهات المشترية توافر هذه الهوامش في أغلب الأحيان من أجل زيادة ثقتها في النظام أو من أجل الاحتفاظ بالهامش لإدخال تحسين نهائي غير متوقع على النظام.

## 7.1.7 استنتاجات

تصف جداول موازنة القدرة البصرية كيفية استيفاء أداء النظام. ويتيسر في الملحق A/التوصية G.977 نموذج من جدول موازنة القدرة البصرية الموصى به.

ولا تحدث إعادة التوليد في الأنظمة البحرية التي تستعمل مضخمات بصرية (التوصيتان G.973 و G.977 الصادرتان عن قطاع تقييس الاتصالات (ITU-T)) سوى في أجهزة الإرسال المطرافية عند السطح البيئي البصري الكهربائي البحري. وتعرض القنوات بين عمليتي الإرسال والاستقبال لحالات عطب ناجمة مثلاً عن تراكم وانتشار الضوضاء البصرية، (حالات لا خطية اللبفة، التشتت اللوني، وما إلى ذلك). ولذلك، يُوصى بضبط موازنة القدرة البصرية على مستوى قسم الخط الرقمي البحري. ونظراً لأن بعض الأنظمة قد تكيف عدة أقسام خطوط رقمية بحرية مع حالات انحطاط مختلفة، فإنه يُوصى كذلك بتحديد موازنة قدرة بصرية لكل قسم من أقسام الخطوط الرقمية البحرية.

وثمة اعتبار آخر يتمثل في احتمال تعرض طريقي التسيير (الخط الرئيسي والخط الفرعي) لحالات انحطاط مختلفة في بعض الحالات (مثلاً في حالة وجود وحدة تفريع لتعدد الإرسال بتقاسم طول الموجات (WDM-BU)): وفي هذه الحالة ينبغي تحديد موازنة قدرة مستقلة لكل طريق تسيير ولا بد من مراعاة أسوأ الحالات.

وبالإضافة إلى ذلك، قد تتيسر هوامش إضافية للأقسام الأقصر في الحالات التي يكون فيها تصميم نظام متعدد نقاط الهبوط قد أعد على نحو أمثل يوائم أطول قسم خط رقمي بحري من حيث انحطاط نسبة الإشارة إلى الضوضاء البصرية والمباعدة بين المكررات. وتسمى هذه الهوامش الإضافية عادة هوامش المورد/القطعة غير الموزعة، ولا بد من إدراجها بوضوح في جداول موازنة القدرة.

وينبغي أن يقدم المورد معلومات كافية من أجل دعم صحة جداول موازنة القدرة، وخاصة فيما يتعلق بما يلي ولكن دون أن يقتصر عليه:

- مسافة الإرسال الكلية وقيم طول المديات؛
- عدد أطوال الموجات المرسل؛
- نسبة الخمود في المرسل؛
- القيمة الاسمية لقدرة إخراج المكرر؛
- القيمة الاسمية لعامل الضوضاء؛
- قيم عرض النطاقين البصري والكهربائي في المستقبل؛
- مواصفات نوعية (Q) المطراف ظهراً لظهر؛
- خصائص شفرة التصحيح الأمامي للأخطاء (بما في ذلك منحنيات نسبة الخطأ في البتات (BER) قبل التصحيح الأمامي للأخطاء (FEC) ومنحنيات نسبة BER بعد التصحيح (FEC)).

كما ينبغي أن يوضح المورد ما إذا كانت هناك أية أجهزة موجودة عند طرف المرسل/المستقبل تستعمل في تحسين أداء الإرسال، مثل مخلطات الاستقطاب و/أو القنوات الزائفة، أو أية أجهزة موجودة داخل المحطة المغمورة تحت سطح الماء، من قبيل مراشح معادلة الكسب و/أو مسويات زاوية الميل و/أو مسويات الميل.

## 2.7 اعتبارات بشأن التشتت

التشتت اللوني هو عبارة عن اعتماد طول الموجة على سرعة المجموعة لكي يتسنى لجميع المكونات الطيفية لإشارة بصرية معينة أن تنتشر بسرعات مختلفة. ويحث ذلك على انتشار النبضة ويمكن أن يشكل انحطاطاً رئيسياً. وقد يكون من الضروري إدارة هذا الأمر بطريقة مختلفة تماماً للحد من انتشار النبضة وما يترتب على ذلك من آثار انتشار أخرى، وذلك اعتماداً على تصميم النظام وخاصة عدد أطوال الموجات (نظام تعدد الإرسال بتقاسم طول الموجات (WDM)). وتؤدي هذه الإدارة عموماً إلى خريطة تشتت توضح كيفية إدارة هذا التشتت على الوصلة بأكملها.

## 1.2.7 انتشار النبضة الناجم عن التشتت اللوني

التشتت اللوني داخل لبفة أحادية الأسلوب هو توليفة تجمع بين التشتت المادي وتشتت إرشاد الموجات، ويسهم هذا التشتت في توسيع نطاق النبضة وإحداث تشويه في أي إشارة رقمية. والسبب الرئيسي الذي يقف وراء ذلك هو اختلاف أطوال

الموجات في الطيف البصري للمصدر. ولكل طول موجة تأخر طور وتأخر مجموعة مختلفان على امتداد الليف، ولذلك تشوه نبضة الإخراج إن عاجلاً أو آجلاً.

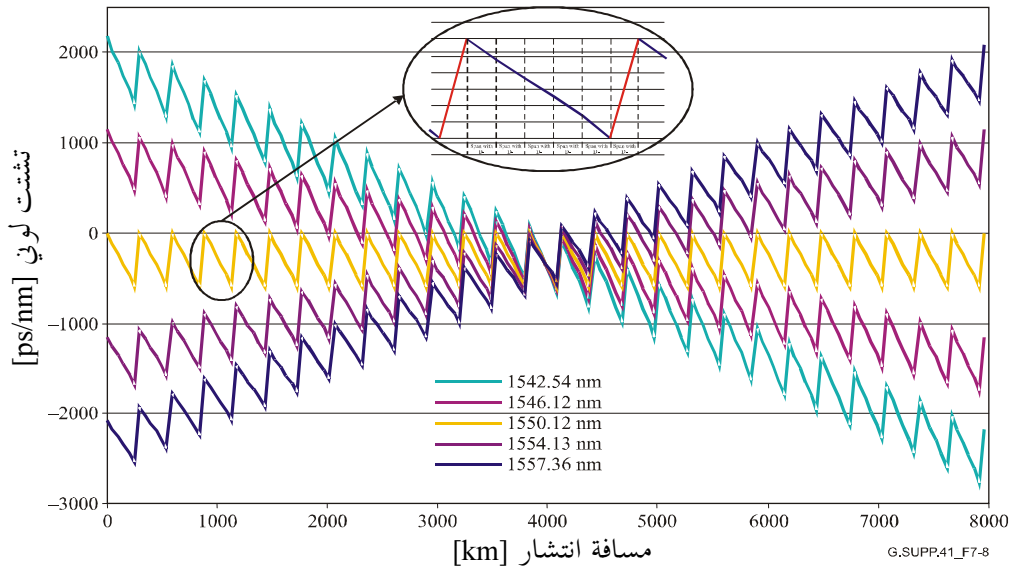
## 2.2.7 رسم خريطة التشتت اللوني

خريطة التشتت هي الوسيلة الرئيسية لوصف خصائص التشتت اللوني لنظام ما على غرار شرح في التوصية G.973 الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات (ITU-T) في حالة وجود نظام أحادي القناة وفي التوصية G.977 الصادرة عن نفس القطاع في حالة وجود نظام تعدد إرسال بتقاسم طول الموجات (WDM). ويُعرف التشتت التراكمي على أنه التشتت المقيس بين إخراج المرسل المطرافي وأية نقطة أخرى في المسير البصري. وخريطة التشتت هي الرسم البياني للتشتت اللوني المحلي لطول موجة تشغيل معينة، بوصفه دالة على المسافة من المرسل البصري إلى المستقبل البصري. وتعتمد خريطة التشتت أساساً على نوع النظام (من حيث كونه نظام بطول موجة أحادي (SWS) أو نظام تعدد إرسال بتقاسم طول الموجات (WDMS)).

وفيما يتعلق بأي نظام بطول موجة أحادي (SWS)، فإن الألياف التي تكون عادة بتشتت لوني سلبي منخفض مقارب للصفر ولكن ليس صفراً تحديداً هي ألياف تُستعمل على امتداد الوصلة المقابلة للأقسام الرئيسية، أما الألياف ذات التشتت اللوني الإيجابي الأعلى فتستعمل في الوصلة المقابلة لأقسام قليلة من تعويض التشتت. ويتمثل هدف هذه الإدارة في إبقاء التشتت التراكمي لكامل الوصلة قريباً من الصفر وفي نفس الوقت إبقاء قيمة التشتت اللوني المحلي غير صفرياً.

أما فيما يخص أي نظام تعدد إرسال بتقاسم طول الموجات (WDMS) يعمل بمعدل 10 جيغابت/ثانية، فإن الألياف التي تكون عادة بتشتت لوني سلبي منخفض ولكنه بعيد عن قيمة صفر (حوالي  $-2$  ps/(nm.km)) هي ألياف تُستعمل في معظم الأقسام (يمكن في بعض الأحيان استعمال نوعين من الألياف: في بداية القسم بليف مساحة فعالة كبيرة وفي نهايته بليف الميل المنخفض) بينما تُستعمل بانتظام الألياف ذات التشتت اللوني الإيجابي الأعلى في أقسام تعويض التشتت. ويتمثل هدف هذه الإدارة في إبقاء التشتت التراكمي لكامل الوصلة قريباً من الصفر مع الإبقاء على قيمة التشتت اللوني المحلي أعلى من الصفر وليس صفراً للحد من خلط الموجات الأربع والتشكيل المتقاطع الأطوار.

وبالنسبة لأي نظام تعدد إرسال بتقاسم طول الموجات (WDMS) يعمل بمعدل 10 جيغابت/ثانية وفيه عدد كبير من القنوات البصرية الخطية (LOC) (انظر الشكل 7-8)، فإن الألياف التي يكون فيها التشتت اللوني كبيراً عادة هي ألياف تُستعمل على امتداد الوصلة بالنسبة لجميع الأقسام. وعادة ما يكون هناك جزء واحد من القسم بتشتت وميل إيجابيين (بمساحة فعالة كبيرة للغاية عادة) أما الجزء المتبقي فيكون بتشتت وميل سلبيين (بمساحة فعالة صغيرة جداً عادة).



الشكل 7-8 - خريطة تشتت لوني نموذجية لنظام بحري متعدد الإرسال بتقاسم طول الموجات (WDM) ذي 163 مدى مصمماً لـ 40 طول أمواج تتمركز حول نظام 1550,12-nm WDM



### 3.2.7 تنفيذ إدارة التشتت

يجب أن يكون تصميم خريطة التشتت في كل قسم بصري وفقاً لمتطلبات الإرسال (تقييد الآثار غير الخطية، توسيع نطاق النبضة، غير ذلك).

ويمكن تعويض التشتت التراكمي المتبقي لكل طول موجة باستعمال طول ليفة معادلة أو غيرها من أجهزة تعويض التشتت المنفعل عند جانب الإرسال (تعويض سابق) و/أو جانب الاستقبال (تعويض لاحق) في أجهزة الإرسال المطرافية البحرية. وعادة ما يتم التعويض في أي نظام أحادي القناة عند طرف الاستقبال حصراً، بينما يُعوض في أي نظام تعدد إرسال بتقاسم طول الموجات (WDM) عند طرفي الإرسال والاستقبال على حد سواء.

وينبغي أن يراعي تصميم النظام جميع الأسباب التي تقف وراء الاختلاف عن خريطة التشتت المرسومة، العشوائي منه والنظامي على حد سواء، بما في ذلك، ولكن دون أن يقتصر على ما يلي:

- عدم التيقن من قياسات طول موجة التشتت بقيمة صفر، والتشتت، وميل تشتت مكونات كل من ليفة أحادية الأسلوب بتشتت متخالف (DSF)، وليفة أحادية الأسلوب من دون تشتت متخالف (NDSF)، وليفة أحادية الأسلوب بتعويض التشتت (DCF)، وليفة أحادية الأسلوب من دون تشتت متخالف بقيمة صفر (NZDSF)، وليفة أحادية الأسلوب ذات قطع مزحزح (CSF)، وألياف ميل سلمي، وليفة معالجة بالإرييوم (EDF)، وما إلى ذلك؛
- عدم التيقن الناجم عن إعادة ترتيب أجزاء مجموعات الألياف وانتقائها "عشوائياً" لدى تجميع أقسام الكبل الأولية؛
- عدم التيقن من درجة حرارة هذه الألياف، والضغط المُثقل عليها، ومعاملات شدها في الكبل وأوعية الضغط؛
- عدم التيقن من درجة حرارة هذه الألياف ومدى شدها بالضبط أثناء أخذ قياسات التشتت؛
- عدم التيقن من درجة حرارة الليفة المركبة؛
- التقادم؛
- عمليات التصليح.

### 8 التصحيح الأمامي للأخطاء

هذا البند قيد المزيد من البحث.

### 9 اعتبارات بشأن الموثوقية

تتطلب الشبكات البحرية أنظمة بصرية بألياف موثوقة وقوية لتلاني عمليات التصليح المكلفة في المحطة الرطبة. وعلاوة على ذلك، وبالنظر إلى أن التكنولوجيات قد تتغير خلال عمر النظام، فإنه يتعين تحديد مخطط صيانة معين في بداية عمر النظام لضمان عمليات التصليح أثناء العمر التعاقدية للنظام إن وجد.

وقد تعزى حالات العطب التي تحدث أثناء عمر النظام إلى عيوب داخلية (عيب التفرع، زيادة حسارة الليفة، حالات عطب المكرر، حالات عطب البطاقة، وما إلى ذلك) أو إلى هجمات خارجية (مثل المراسي وأنشطة صيد الأسماك قرب المحطة الرطبة وإساءة تشغيل المحطات الجافة).

### 1.9 متطلبات الموثوقية

تُعرف الموثوقية على أنها احتمال قيام مكون أو نظام فرعي ما بأداء وظيفة مطلوبة في ظل ظروف معينة لفترة محددة من الزمن. ويمكن التعبير عن ذلك بالأرقام المختلفة التالية:

- العمل في الوقت المناسب (FIT): عدد الأعطال في الساعة لـ 10<sup>9</sup> أجهزة. وتعتمد هذه القيمة على درجة الحرارة ويتعين تسجيلها بدرجة حرارة التشغيل. ويكافئ هذا التعريف من وجهة نظر إحصائية: عدد حالات الأعطال للجهاز في 10<sup>9</sup> ساعات.
- متوسط الزمن الفاصل بين الأعطال (MTBF): الزمن المتوقع بين عطلين متعاقبين.

وتجدر الإشارة إلى أن هذه الأرقام الإحصائية لا تعني شيئاً بالنسبة لجهاز فردي وهي لا تقدم سوى احتمالات بشأن الأداء بدلاً من تقديمها توقعات مطلقة.

وبداية، تُستعمل القيود العامة للموثوقية لتقدير الموثوقية المسموح بها لكل نظام فرعي ومن ثم لكل مكون. ثم تُحول الموثوقية اللازمة لمكون في عمر نظام ما إلى معدل حالات أعطال في الوقت المحدد (FIT) أو متوسط الزمن الفاصل بين الأعطال (MTBF).

وتُحدد الأرقام التالية لنظام ما أو لنظام فرعي ما، وهي:

- متوسط الوقت المستغرق في التصليح (MTTR): الوقت المتوقع اللازم لإصلاح عطل ما.
- حالة انقطاع = متوسط الوقت المستغرق في التصليح (MTTR)/متوسط الوقت الفاصل بين الأعطال (MTBF): مقدار الوقت الذي يُعبر عنه عادة بالدقائق في السنة حيثما لا تيسر الشبكة لأداء وظيفتها.
- تيسر الشبكات (%) = (الوقت الكلي - حالات الانقطاع)/الوقت الكلي \* 100%.

## 2.9 العطب الداخلي

ينبغي تحديد الأسباب الرئيسية التي تقف وراء عطب المكونات والأنظمة الفرعية وسويات النظام من أجل تحقيق هدف الموثوقية في الأنظمة البحرية (تقليل أنواع العطب الداخلية إلى أدنى حد) ووضع سياسة عامة للصيانة واجبة التطبيق طوال كامل عمر النظام. ولذلك، لا بد من إثبات موثوقية جميع المكونات المستعملة في النظام في فترة العمر التعاقدية للنظام (وهي 25 عاماً تقريباً). وغالباً ما تستند الموثوقية المتوقعة إلى التوصية G.911 الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات (ITU-T) والنشرة 62380 الصادرة عن اللجنة الكهروتقنية الدولية (IEC) والمعيار [7] 217 الوارد في الدليل العسكري (MIL-HDBK) ومعايير [8] SR 332 المتعلقة ببرمجيات الاتصالات Telcordia وإلى معطيات موردي المكونات.

### 1.2.9 تحليل معدل الأعطال

#### 1.1.2.9 الفناء المبكر

تبدى الوحدات أو المكونات المستعملة في الأنظمة البحرية معدل أعطال عال في بداية عمر التشغيل يتناقص بمضي الوقت. وتسمى هذه الفترة القصيرة وقت الفناء المبكر (يكون معدل الفناء المبكر عادة: سنة أو سنتان). ويُعزى ذلك أساساً إلى عملية التصنيع غير المثالية (مواد خام معطوبة، عمليات تشغيل غير صحيحة، بيئة ملوثة، تمور القدرة، تفتيش المكونات بطريقة غير فعالة أو شحنها وتناولها بصورة غير ملائمة). ومن الجدير بالذكر أن الفناء المبكر يتعلق بدفعات كاملة من الأجهزة ولا يمكن أن يعكس سلوك جهاز واحد. وفي هذه الحالة تحديداً، فإن هذا الجهاز إما أن يفشل في الاختبار أو ينجح فيه، بينما سيتبع معدل أعطال عدد معين من الوحدات منحنياً هابطاً.

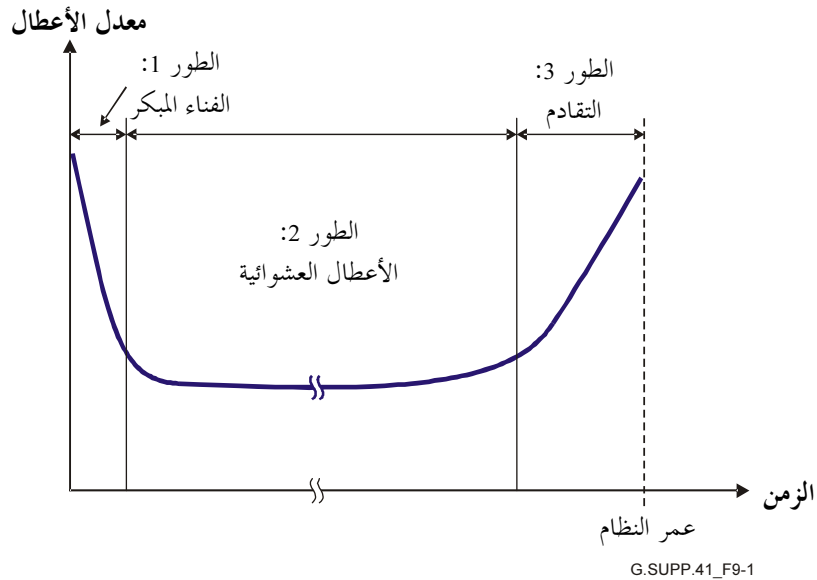
#### 2.1.2.9 العطل العشوائي

تتسم الفترة التي تلي الفناء المبكر بانخفاض معدل الأعطال. وتسمى هذه الفترة بالعمر المفيد لأن معدل الأعطال يكون ثابتاً تقريباً حتى بداية الطور الأخير (فترة التقادم). وتمثل الأعطال الفشل الثابتة لعمليات عشوائية، ويتعذر بوجه عام الكشف عنها حتى من خلال عملية مراقبة مشددة.

#### 3.1.2.9 التقادم

تحدث الفترة الأخيرة عندما تبدأ الأنظمة والمكونات المرتبطة بها بالتقادم أثناء الاستعمال. وقد تنجم الأعطال عن التقادم أو كلال المواد أو البلى المفرط أو التآكل بفعل البيئة أو البيئة غير الملائمة أو تراكم الأضرار.

ويوصف سلوك معدل حالات الفشل تقليدياً بأنه منحن يشبه حوض الاستحمام خلال عمر النظام على غرار ما هو موضح في الشكل 1-9.



الشكل 1-9 - سلوك معدل الأعطال النموذجي أثناء عمر نظام ما

## 2.2.9 الموثوقية في المحطة الرطبة

يعد وضع المحطة الرطبة أكثر حرجاً بكثير من وضع المحطة الجافة من حيث الموثوقية بسبب زيادة متوسط الوقت المستغرق في التصليح (MTTR). وتمنح القيم النموذجية لمتوسط الزمن MTTR نحو أسبوعين لتصليح المحطة الرطبة بدلاً من ساعتين لتصليح المحطة الجافة. ومن وجهة نظر الموثوقية، فإن هذا السبب هو الذي يقف وراء كون الأعطال في الوقت المحدد (FIT) التي تحدث في مضخات الليزر المستعملة في المكررات تشكل مسألة حساسة بالنسبة للنظام. ويتراوح مثلاً عدد الأعطال في الوقت المحدد النموذجية (FIT) في المضخات المستعملة في شبكات أرضية بين 1000 و 10 000 عطل مقارنة بالمضخات البحرية التي يتراوح عدد الأعطال فيها بين 10 و 100 عطل (أي ذات حجم أدنى بجوالي رتبتين من أعطال المضخات في الشبكات البرية).

ويعني تصميم أنظمة بحرية عالية الموثوقية أن يكون احتمال حصول حالة عطل ناجمة عن البلى أثناء عمر النظام احتمال شبه معدوم وأن يقل إلى أدنى حد بقدر المستطاع حدوث عطل عشوائي.

والمكررات هي أهم الأجهزة لأنها تحوي المكونات الإلكترونية والمكونات البصرية والمكونات الإلكترونية البصرية. وبالإضافة إلى ذلك، لا بد أن يضع المرء نصب عينيه أن أي ضرر داخلي يلحق بهذه المكررات، بصرف النظر عن السبب الذي يقف وراءه، قد يؤثر مباشرة على جودة الإرسال. ولذلك، يجب اتخاذ احتياطات دقيقة لتلافي خطورة الأعطال وتقليلها. ولا ينبغي تحديداً أن تؤثر حالة عطل بصرية تحصل داخل ليفة معينة على حالات أداء الألياف الأخرى للنظام. والاختبارات المطلوبة قبل وأثناء تركيب الكبل مبينة بالتفصيل في التوصية G.976 الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات (ITU-T).

### (i) المتطلبات العامة

تُقلل حالات الفشل في الزمن (FIT) عن طريق استعمال مكونات منتقاة بعناية ومراقبة المواد الأولية بدقة وتصميم المكونات بقوة وبساطة وتصنيعها بعملية دقيقة والتدقيق في مراقبة جودتها.

ويتضح بسرعة أن إجراء حالة اختبار أمر ضروري لتعجيل الزمن المستغرق في الكشف عن حالة عطل معينة بطريقة يمكن التنبؤ بها ومفهومة. وينبغي أيضاً التسليم بأن أي نظام ينطوي على طائفة من عمليات التصنيع وإجراءات التجميع المختلفة ولا بد من اختبار كل واحدة منها. ومن الضروري أن يُعزى كل عطل إلى آلية كشف حالة عطل وحيدة ولا ينبغي ربطها بتفاعل محتمل بين الجهاز قيد الاختبار وإجراء الاختبار بحد ذاته. وتُحتم متطلبات الموثوقية تطبيق اختبارات معجلة تحقيقاً لأغراض اقتصادية والحدوى التقنية.

## (ii) إطناب التشكيلات

يُلجأ عموماً إلى إطناب التشكيلات من أجل بلوغ الموثوقية اللازمة والعمل بناءً على ذلك على تقليل حالات العطل في الوقت المناسب (FIT) التي تحصل في الأنظمة الفرعية. وعادة ما يُلجأ مثلاً إلى زيادة إطناب تشكيلات ليزر المضخة لضمان تحقيق هدف الموثوقية في المضخم.

### 3.2.9 مثال لحساب الموثوقية

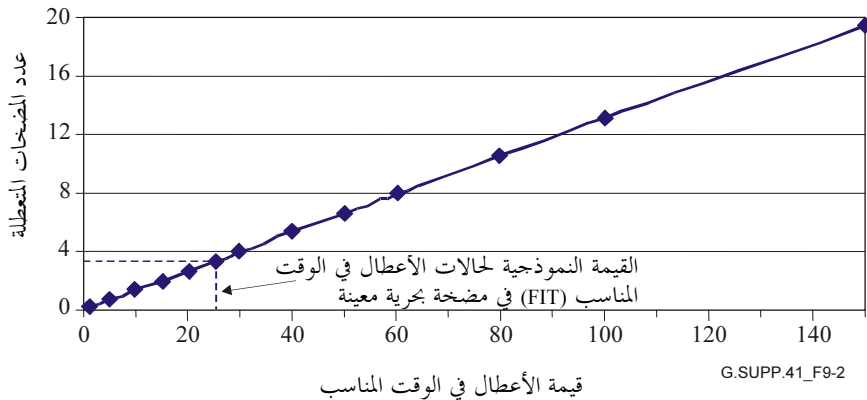
يكون احتمال عطل كل مضخة في حالة تصميم مكرر بمخطط لإطناب عدد المضخات أربع مرات على افتراض أن عمر النظام هو 25 عاماً كما يلي (على فرض أن معدل حالات الأعطال ثابت):

$$(1-9) \quad p = 1 - e^{-21.9 \times 10^{-5} FIT}$$

وتكون قيمة العطل في الوقت المناسب (FIT) (المحددة لأجهزة 10<sup>9</sup>) التي تراعيها المعادلة 1-9 متساوية في جميع المضخات الأربع. أما قيمة 21,9 × 10<sup>-5</sup> الواردة في المعادلة 1-9 فهي قيمة متأتية من المعادلة التالية:

$$(2-9) \quad \frac{25 \text{ years} \times 365 \text{ days} \times 24 \text{ hours}}{10^9 \text{ devices}} = 21.9 \times 10^{-5} \text{ h / device}$$

ويبين الشكل 2-9 عدد المضخات المعرضة للعطل خلال عمر النظام البالغ 25 عاماً في كبل نموذجي عابر للأطلسي (150 مكرراً) مكون من زوج واحد فقط من الألياف. ويُفترض أن يكون عدد حالات العطل في الوقت المناسب النموذجية (FIT) في أي مضخة ليزر بحرية 25 حالة. ويُقدر عدد المضخات المعرضة للعطل بالناتج الحاصل بين  $p$  ومجموع عدد المضخات.



الشكل 2-9 - العدد التقديري للمضخات المتعطلة خلال 25 عاماً في وصلة نموذجية عابرة للأطلسي مكونة من زوج واحد من الألياف و150 مكرراً يضم كل واحد منها أربع مضخات

وتُحدد مواقع هذه الأعطال عشوائياً داخل خط الإرسال مما يعني أنه يتعذر إعطاء أي دلالة تبينها سواء عبر المكرر (المكررات) المتأثرة أم عبر إعاقة الإرسال.

وعلى افتراض أن احتمال تعرض مضخات ليزر معينة للعطل هو  $p$ ، وتسمية  $N$  مجموع عدد المضخات (أربعة أضعاف عدد المكررات)، فإن بإمكاننا التعبير عن احتمال التعرض لحالة عطل واحدة تماماً في كامل النظام.

ويُعبّر عن كل مضخة بمتغير عشوائي هو  $X_i$  ( $X_1 \leq X_i \leq X_N$ ). وهكذا، يكون لدينا متغيرات عشوائية  $N$  تطبق القاعدة التالية:

$$(i) \quad \text{المضخة } X_i \text{ خارجة عن الخدمة } (X_i = 0) \text{ باحتمال } p(X_i = 0) = p$$

(ii) المضخة  $X_i$  تعمل ( $X_i=1$ ) باحتمال  $p$  ( $X_i=0$ )  $1-p$   $p(X_i=1) = 1 - p(X_i=0) = 1 - p$

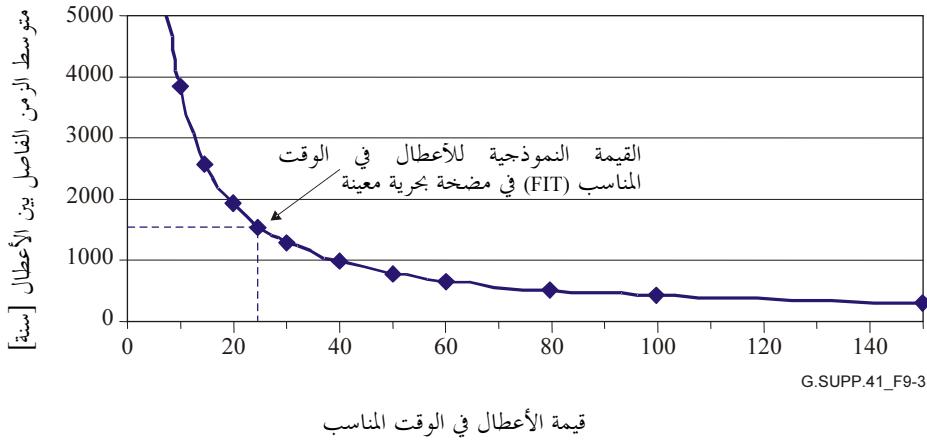
والعدد التقديري للمضخات المعطوبة هو  $Np$  (الشكل 2-9) والتباين هو  $Np(1-p)$ . وتمثل قاعدة الاحتمال هذه لقانون ذي حدين أما احتمال الحصول على عدد المضخات  $n$  المعطوبة بالضبط خلال عمر النظام فهو كالتالي:

$$(3-9) \quad P(n, N) = \frac{N!}{(N-n)!n!} p^n (1-p)^{N-n}$$

وعلى فرض أن لدينا مضخة واحدة متعطلة بالفعل في مكرر معين، فإن احتمال تعرض مضخة ثانية للعطل في نفس المكرر هو كما يلي:

$$(4-9) \quad P_2(N) = P(1,3) = 3p(1-p)^2$$

وبتطبيق ذات النظام النموذجي المتبع في الشكل 2-9 وتطبيق المعادلة 4-9، فإن هذا الاحتمال يؤدي إلى الحصول على قيمة متوسط الزمن الفاصل بين حالي العطل الأولى والثانية (MTBF) في نفس المكرر وهي قيمة يمثلها الشكل 3-9. ويبلغ متوسط الزمن الفاصل بين عمليات التصليح/عمليات الإزالة (MTBR) الذي يحدث في حالة عطل نموذجي في الوقت المناسب (FIT) مساوياً لـ 25 هو أكثر من 1500 سنة!



الشكل 3-9 - متوسط الزمن الفاصل بين الأعطال (MTBF) في حالة تعطل مضخة ثانية في نفس المكرر داخل وصلة نموذجية عابرة للأطلسي مكونة من زوج واحد من الألياف و150 مكرراً يضم كل واحد منها أربع مضخات زائدة

### 3.9 العطب الخارجي

تحصل عادة أنواع عطب خارجية في أقسام الكبل. وفي الواقع، فإن الأسباب الرئيسية للعطل هي هجمات خارجية مثل صيد الأسماك في قاع البحر ومراكب الصيد الجرافية والتيارات البحرية والأحداث الجيولوجية (الزلازل والبراكين) والأعطال التي تسببها الحرارة الناجمة عن الحمولة الزائدة. وتتسبب أنشطة صيد الأسماك والأضرار الناشئة عن مراسي السفن في ما نسبته 90 في المائة تقريباً من الأعطال. ولحماية الكبل من هذه العوامل المختلفة، يمكن دفن المحطة الرطبة في المياه الضحلة فيما عدا المناطق الصخرية حيث لا تسمح فيها حالة قاع البحر بدفن المحطة. وبالإضافة إلى ذلك، يتم اختيار طريق تسير الكبل لتفادي الأخطار الجيولوجية قدر المستطاع.

وفي حال حصول عطل في العمليات البحرية لمحطة رطبة فإن من الضروري إجراء عمليات بحرية وإعداد سفينة لمد الكبلات من أجل تصليح المحطة. ويُقطع قسم الكبل المتضرر ويُستعاد ويُستبدل بأقسام احتياطية محمولة على متن السفينة. ويُقدر متوسط الزمن المستغرق في التصليح (MTTR) من أسبوع إلى ثلاثة أسابيع اعتماداً على موقع العطب، وعمق مياه البحر، ومدى تيسر السفن، والسبب الرئيسي الذي يقف وراء حصول الضرر، والطقس الذي يمكن أن يُعطى بشكل كبير العمليات البحرية.

ومن أجل التقليل إلى أدنى حد من أثر أنواع العطب هذه الأعطال على الحركة، يُزاد مدى التيسر الكلي للشبكة من خلال تنوع طرق التسيير حيثما كان ذلك ممكناً (انظر البند 6 للاطلاع على تفاصيل بشأن طوبولوجيا الشبكات البحرية). ويُعاد تسيير الحركة عادة عبر مسير للحماية في حال حصول عطب في المحطة الرطبة يؤدي إلى فقدان الإرسال.

#### 4.9 تحديد موقع العطب

لا يحول التصميم الدقيق في معظم الحالات دون حدوث أعطال غير متوقعة. ومن الضروري التعجيل بتشخيص هذه الأعطال وإزالتها لتقليل انقطاع الحركة إلى أدنى حد. ولذلك، ينبغي مراقبة المعلومات الأساسية (باستعمال آلية إشرافية) واستعمالها في الكشف عن الأعطال المفاجئة والتدرجية وتحديد مواقعها.

ومثلما هو مبين بالتفصيل في التوصية G.976 الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات (ITU-T)، فإنه يمكن إجراء اختبارات معينة أثناء الخدمة وإجراء اختبارات أخرى خارج الخدمة من المحطة المطرافية وذلك اعتماداً على المرفق المستعمل (مكرر إشرافي أو وسيلة خارجية من قبيل مقياس انعكاس المجال الزمني البصري (OTDR)، مقياس متماسك لانعكاس المجال الزمني البصري (COTDR)، أخذ قياسات المقاومة أو السعة عبر الموصل، غير ذلك. ويُستفاد من هذه الاختبارات في معرفة نوع العطب وتحديدته بمنتهى الدقة. ويُستعمل عموماً مقياس انعكاس المجال الزمني البصري (OTDR) لفحص جودة الكبل الممدود بين جهاز الإرسال المطرافي (TTE) وأول مكرر مغمور تحت الماء أما المقياس المتماسك لانعكاس المجال الزمني البصري (COTDR) فيُستخدم في تحديد مواقع عطب الأنظمة المكررة عبر مسافات طويلة.

وأثناء التصليح يمكن استعمال تقنية أقطاب كهربائية (حيثما انطبق ذلك) من السفينة لتحديد موقع طريق الكبل. ويتيح ذلك استعادة القسم المعطوب من الكبل، أو الأجهزة المغمورة تحت سطح الماء في الوقت المناسب.

#### 10 اعتبارات بشأن القدرة على التحسين

هذا البند قيد المزيد من البحث.

## سلاسل التوصيات الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات

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