



UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

UIT-T

SECTEUR DE LA NORMALISATION
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS
DE L'UIT

G.663

Amendement 1
(01/2003)

SÉRIE G: SYSTÈMES ET SUPPORTS DE
TRANSMISSION, SYSTÈMES ET RÉSEAUX
NUMÉRIQUES

Caractéristiques des supports de transmission –
Caractéristiques des composants et sous-systèmes
optiques

Aspects relatifs aux applications des sous-systèmes
et dispositifs amplificateurs optiques

**Amendement 1: amendements relatifs à
l'Appendice II**

Recommandation UIT-T G.663 (2000) – Amendement 1

RECOMMANDATIONS UIT-T DE LA SÉRIE G
SYSTÈMES ET SUPPORTS DE TRANSMISSION, SYSTÈMES ET RÉSEAUX NUMÉRIQUES

CONNEXIONS ET CIRCUITS TÉLÉPHONIQUES INTERNATIONAUX	G.100–G.199
CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES COMMUNES À TOUS LES SYSTÈMES ANALOGIQUES À COURANTS PORTEURS	G.200–G.299
CARACTÉRISTIQUES INDIVIDUELLES DES SYSTÈMES TÉLÉPHONIQUES INTERNATIONAUX À COURANTS PORTEURS SUR LIGNES MÉTALLIQUES	G.300–G.399
CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DES SYSTÈMES TÉLÉPHONIQUES INTERNATIONAUX HERTZIENS OU À SATELLITES ET INTERCONNEXION AVEC LES SYSTÈMES SUR LIGNES MÉTALLIQUES	G.400–G.449
COORDINATION DE LA RADIODÉLÉPHONIE ET DE LA TÉLÉPHONIE SUR LIGNES	G.450–G.499
EQUIPEMENTS DE TEST	G.500–G.599
CARACTÉRISTIQUES DES SUPPORTS DE TRANSMISSION	G.600–G.699
Généralités	G.600–G.609
Paires symétriques en câble	G.610–G.619
Câbles terrestres à paires coaxiales	G.620–G.629
Câbles sous-marins	G.630–G.649
Câbles à fibres optiques	G.650–G.659
Caractéristiques des composants et sous-systèmes optiques	G.660–G.699
EQUIPEMENTS TERMINAUX NUMÉRIQUES	G.700–G.799
RÉSEAUX NUMÉRIQUES	G.800–G.899
SECTIONS NUMÉRIQUES ET SYSTÈMES DE LIGNES NUMÉRIQUES	G.900–G.999
QUALITÉ DE SERVICE ET DE TRANSMISSION	G.1000–G.1999
CARACTÉRISTIQUES DES SUPPORTS DE TRANSMISSION	G.6000–G.6999
EQUIPEMENTS TERMINAUX NUMÉRIQUES	G.7000–G.7999
RÉSEAUX NUMÉRIQUES	G.8000–G.8999

Pour plus de détails, voir la Liste des Recommandations de l'UIT-T.

Recommandation UIT-T G.663

Aspects relatifs aux applications des sous-systèmes et dispositifs amplificateurs optiques

Amendement 1

Amendements relatifs à l'Appendice II

Résumé

Le présent amendement contient des adjonctions rédactionnelles et des mises à jour techniques concernant le § II.4.1 de l'Appendice II de la Recommandation UIT-T G.663 (version de 04/2000) relative à la dispersion modale de polarisation.

Source

L'Amendement 1 de la Recommandation G.663 (2000) de l'UIT-T, élaboré par la Commission d'études 15 (2001-2004) de l'UIT-T, a été approuvé le 31 janvier 2003 selon la procédure définie dans la Résolution 1 de l'AMNT.

AVANT-PROPOS

L'UIT (Union internationale des télécommunications) est une institution spécialisée des Nations Unies dans le domaine des télécommunications. L'UIT-T (Secteur de la normalisation des télécommunications) est un organe permanent de l'UIT. Il est chargé de l'étude des questions techniques, d'exploitation et de tarification, et émet à ce sujet des Recommandations en vue de la normalisation des télécommunications à l'échelle mondiale.

L'Assemblée mondiale de normalisation des télécommunications (AMNT), qui se réunit tous les quatre ans, détermine les thèmes d'étude à traiter par les Commissions d'études de l'UIT-T, lesquelles élaborent en retour des Recommandations sur ces thèmes.

L'approbation des Recommandations par les Membres de l'UIT-T s'effectue selon la procédure définie dans la Résolution 1 de l'AMNT.

Dans certains secteurs des technologies de l'information qui correspondent à la sphère de compétence de l'UIT-T, les normes nécessaires se préparent en collaboration avec l'ISO et la CEI.

NOTE

Dans la présente Recommandation, l'expression "Administration" est utilisée pour désigner de façon abrégée aussi bien une administration de télécommunications qu'une exploitation reconnue.

DROITS DE PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

L'UIT attire l'attention sur la possibilité que l'application ou la mise en œuvre de la présente Recommandation puisse donner lieu à l'utilisation d'un droit de propriété intellectuelle. L'UIT ne prend pas position en ce qui concerne l'existence, la validité ou l'applicabilité des droits de propriété intellectuelle, qu'ils soient revendiqués par un Membre de l'UIT ou par une tierce partie étrangère à la procédure d'élaboration des Recommandations.

A la date d'approbation de la présente Recommandation, l'UIT avait été avisée de l'existence d'une propriété intellectuelle protégée par des brevets à acquérir pour mettre en œuvre la présente Recommandation. Toutefois, comme il ne s'agit peut-être pas de renseignements les plus récents, il est vivement recommandé aux responsables de la mise en œuvre de consulter la base de données des brevets du TSB.

© UIT 2003

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, par quelque procédé que ce soit, sans l'accord écrit préalable de l'UIT.

Recommandation UIT-T G.663

Aspects relatifs aux applications des sous-systèmes et dispositifs amplificateurs optiques

Amendement 1

Amendements relatifs à l'Appendice II

1) Paragraphe 2 – Références

Ajouter les nouvelles références suivantes:

- [18] Recommandation UIT-T G.691 (2000), *Interfaces optiques pour les systèmes STM-64, STM-256 et autres systèmes SDH monocanaux à amplificateurs optiques.*
- [19] CEI 61282-3:2002, *Guides de conception des systèmes de communication à fibres optiques – Partie 3: Calcul de la dispersion en mode de polarisation.*

2) Paragraphe II.4.1

Remplacer le § II.4.1 comme suit:

II.4.1 Dispersion modale de polarisation

II.4.1.1 Description des effets

Il est bien connu que le mode fondamental d'un guide d'onde à diélectrique circulaire et symétrique est doublement dégénéré. Dans une fibre optique réelle, cette dégénérescence est fractionnée par la biréfringence. La biréfringence peut être introduite délibérément, comme par exemple pour les fibres à maintien de polarisation, ou elle peut être un sous-produit indésirable apparaissant lors de la fabrication des fibres ou des câbles. Dans ce cas, la biréfringence est introduite de façon aléatoire, comme par exemple par des perturbations géométriques ou causées par des contraintes.

Les constantes de propagation, $\beta_i(\omega)$, des deux modes orthogonaux, peuvent être développées en séries de Taylor autour de la fréquence médiane, ω_0 ;

$$\beta_i(\omega_0) = \beta_i(\omega_0) + \left. \frac{\partial \beta_i}{\partial \omega} \right|_{\omega=\omega_0} (\omega - \omega_0) + \frac{1}{2} \left. \frac{\partial^2 \beta_i}{\partial \omega^2} \right|_{\omega=\omega_0} (\omega - \omega_0)^2 + \dots$$

où $\beta_i(\omega_0)$ est la vitesse de phase v_p , $\left. \frac{\partial \beta_i}{\partial \omega} \right|_{\omega=\omega_0}$ est lié à la vitesse de groupe v_g , et $\left. \frac{\partial^2 \beta_i}{\partial \omega^2} \right|_{\omega=\omega_0}$ est lié à la dispersion de la vitesse de groupe (ou dispersion chromatique D), etc.

Avec le développement des fibres à dispersion décalée et le déploiement des systèmes fonctionnant à proximité de la longueur d'onde de dispersion nulle, la contribution à la dispersion à partir du terme de second ordre, ou dispersion chromatique, est réduite, et le terme de premier ordre peut alors devenir important. Dans le cas des fibres biréfringentes, le terme de premier ordre entraîne un temps de propagation de groupe appelé dispersion de polarisation. Cette dispersion de polarisation introduit un temps de propagation de groupe différentiel entre des états orthogonaux de la polarisation. Bien que l'effet dû à la dispersion modale de polarisation (PMD, *polarization mode dispersion*) soit de modifier de façon aléatoire l'état de polarisation d'une impulsion se propageant sur une fibre, il est possible de définir un couple d'états orthogonaux ou "états principaux" à l'entrée,

les états de sortie associés étant orthogonaux et ne présentant pas de variation en fonction de la longueur d'onde pour le premier ordre. (Dans certains cas, cette approximation ne tient cependant pas et les états principaux peuvent mettre en évidence une variation en fonction de la longueur d'onde, conduisant à une autre dégradation du système par un couplage à la dispersion chromatique).

Comme cela était indiqué dans le paragraphe ci-dessus, la biréfringence introduite dans la fibre a été provoquée par des mécanismes aléatoires et asymétriques locaux tels que les contraintes, les flexions et les torsions. Ces mécanismes de biréfringence aléatoire redéfinissent les axes de biréfringence locale le long de la fibre, entraînant ainsi un couplage aléatoire entre les modes de polarisation le long de la fibre. Le processus de câblage produit également une certaine quantité de biréfringence et un couplage de mode aléatoire. La longueur de fibre entre de telles modifications est généralement appelée longueur de couplage et, pour une fibre, elle est généralement exprimée comme la moyenne de toutes les longueurs de couplage local. En outre, les modifications intervenant dans les conditions d'environnement locales comme par exemple la température, engendrent des fluctuations dans les axes de biréfringence, ce qui entraîne un couplage de polarisation aléatoire. Par suite du changement aléatoire du couplage de polarisation, le temps de propagation de groupe différentiel (DGD, *differential group delay*) devient une fonction à variation aléatoire. Il est possible de démontrer que la distribution des temps de propagation de groupe différentiels est décrite par une fonction de distribution de Maxwell définie par:

$$P(\Delta\tau) = \frac{32\Delta\tau^2}{\pi^2\langle\Delta\tau\rangle^3} \exp\left[-\frac{4\Delta\tau^2}{\pi\langle\Delta\tau\rangle^2}\right]$$

où $\Delta\tau$ est le temps de propagation de groupe différentiel entre les deux états principaux et $\langle\Delta\tau\rangle$ le temps de propagation de groupe différentiel moyen (couramment appelé PMD). Par suite de la nature aléatoire de la dispersion modale de polarisation, l'amplitude de $\langle\Delta\tau\rangle$ augmente avec la racine carrée de la longueur de la fibre, ou du câble, pour des longueurs bien supérieures à la longueur de couplage. La dispersion modale de polarisation est généralement exprimée en ps ou ps/ \sqrt{km} . L'unité ps est en général réservée à des éléments optiques simples ayant une dispersion fixe (par exemple un coupleur ou un isolateur) ou à de courts tronçons de fibre ne présentant pas de couplage de mode.

II.4.1.2 Limitations de transmission induites

Dans un système de transmission numérique, la dispersion modale de polarisation a pour principal effet de provoquer des brouillages intersymboles. Empiriquement, on évalue à 1 dB la dégradation lorsque le temps de propagation de groupe différentiel instantané total est égal à 0,3 T, et les deux principaux états de polarisation sont excités de manière identique ($\gamma = 0,5$), où T est la période binaire. Cette valeur couramment utilisée pour la pénalité maximale pouvant être tolérée dans le bilan de puissance du système et le DGD instantané associé peut de même être considéré comme étant la valeur maximale tolérable pour le système: $DGD_{\max} \leq 0,3T$. La relation entre DGD_{\max} et la valeur de PMD doit être déterminée sur la base d'une distribution de Maxwell des probabilités en choisissant un facteur d'ajustement approprié, c'est-à-dire lié à la probabilité maximale désirée d'interruption. Par exemple, une valeur de 3 du facteur d'ajustement, à savoir $DGD_{\max} = 3 \cdot PMD$, correspond à une probabilité d'interruption de 4×10^{-5} environ (voir la Rec. UIT-T G.691 [18]). Les systèmes à débit binaire plus élevé ont des périodes binaires plus courtes, le temps de propagation de groupe différentiel qu'ils tolèrent est donc plus court. Des études en cours (CEI 61282-3 [19] par exemple) indiquent que les câbles et les fibres optiques seront spécifiés en utilisant le paramètre DGD_{\max} défini ci-dessus ou le niveau moyen du temps de propagation de groupe différentiel (valeur du PMD). Avec l'exemple ci-dessus d'un facteur d'ajustement égal à 3, la règle de conception du système pour des dégradations dues au PMD devient la suivante: $PMD \leq 0,1T$.

Dans les systèmes de transmission optique fonctionnant à 10 Gbit/s, une spécification statistique de $0,5 \text{ ps}/\sqrt{km}$ a été proposée pour les liaisons concaténées de câble à fibres optiques. Avec des statistiques de Maxwell, la probabilité pour que la dégradation de 1 dB à 10 Gbit/s soit dépassée pour un tronçon de 400 km est inférieure à 4×10^{-5} (voir la Rec. UIT-T G.691). Ici, il n'est pas tenu compte de la contribution des autres composantes à la valeur du PMD. La dégradation due à la dispersion modale de polarisation peut donc être considérée comme une dégradation de puissance du système combinée à une probabilité de dépassement de cette dégradation.

Pour les systèmes fonctionnant à 40 Gbit/s, le temps de propagation de groupe différentiel moyen d'un dixième de la période correspondant à un bit, correspond à 2,5 ps. En hypothèse générale, une partie de cette valeur tolérée pourrait être attribuée au câble et une autre aux répéteurs optiques, selon les caractéristiques de la liaison (qualité des fibres et des sous-systèmes utilisés en termes de PMD). Le PMD total d'une liaison englobant des fibres optiques et des sous-systèmes optiques est égal à la somme quadratique (racine carrée de la somme des carrés) des PMD de la fibre et des sous-systèmes.

$$PMD_{TOT} = \left[PMD_F^2 + \sum_i PMD_{Ci}^2 \right]^{1/2}$$

où

PMD_{TOT} : PMD total de la liaison (ps)

PMD_F : PMD de câbles à fibres optiques concaténés (ps)

PMD_{Ci} : PMD du i^e sous-système (ps)

Par exemple, soit une valeur du PMD d'une liaison par câbles à fibres optiques concaténés égale à $0,1 \text{ ps}/\sqrt{km}$ (que l'on peut conseiller à 40 Gbit/s), 2,0 ps est la contribution du câble pour des liaisons de 400 km. D'après la formule précédente, il reste encore une marge de 1,5 ps PMD pour les sous-systèmes optiques. En supposant l'utilisation de 4 sous-systèmes optiques avec une valeur de PMD de 0,6 ps, le PMD total sera inférieur à la limite de 2,5 ps précédemment indiquée pour les systèmes à 40 Gbit/s.

$$PMD_{TOT} = \sqrt{(0,1 \cdot \sqrt{400})^2 + 4 \cdot (0,6)^2} = 2,33 \text{ ps} < 2,5 \text{ ps}$$

Le PMD du deuxième ordre ou d'ordre supérieur peut avoir un effet non négligeable sur la pénalité totale de PMD. Ce sujet appelle un complément d'étude.

En outre, dans les systèmes à amplificateurs à grande distance utilisant des embrouilleurs de polarisation (équipements modulant délibérément l'état de polarisation d'un signal du laser de façon qu'il semble ne pas être polarisé), la dispersion modale dépolariation entraîne une augmentation du degré de polarisation du signal. Cela dégrade la performance du système par des interactions avec un affaiblissement dû à la polarisation (PDL, *polarization dependent loss*) et une saturation spectralement sélective (PHB, *polarization hole burning*) (voir les paragraphes suivants). Dans un système analogique, l'interaction de la dispersion modale de polarisation avec la fluctuation de longueur d'onde du laser conduit à une distorsion de second ordre proportionnelle à la fréquence de modulation. Une autre pénalité de fonctionnement de second ordre, indépendante de la fréquence de modulation, est encourue quand un affaiblissement additionnel dû à la polarisation est présent dans le système.

Comme cela a été indiqué brièvement ci-dessus, un effet de second ordre peut provoquer un couplage entre la dispersion modale de polarisation et la dispersion chromatique. Ceci est dû à la variation du temps de propagation de groupe différentiel en fonction de la longueur d'onde et, ce qui est plus important, à la variation des états principaux de polarisation en fonction de la longueur d'onde, ce qui conduit à une contribution aléatoire à la dispersion chromatique. Ce domaine n'est pas bien compris et fait l'objet d'un complément d'étude. L'incidence de l'utilisation de dispositifs de compensation de la dispersion chromatique sur la dégradation due à la dispersion modale de polarisation n'est pas claire non plus. L'incidence de l'injection d'une plus grande puissance dans les canaux sur la dispersion modale de polarisation non linéaire nécessite également un complément d'étude.

En ce qui concerne les systèmes amplifiés à 1550 nm, la dispersion modale de polarisation risque de causer plus de problèmes aux anciennes fibres fonctionnant dans des systèmes à un débit égal ou supérieur à 10 Gbit/s qu'aux fibres G.652, G.653 ou G.655 récentes.

II.4.1.3 Méthodes visant à minimiser les limitations induites

Etant donné que le problème a été suscité par la biréfringence, une grande partie de l'effort visant à réduire les effets de la dispersion modale de polarisation est concernée par la minimisation de la biréfringence liée à la fabrication des fibres ou des câbles. Il convient de veiller à optimiser la fabrication des fibres pour assurer la symétrie circulaire géométrique et optique ou pour induire le couplage des modes de polarisation. Les câbles optiques sont fabriqués en utilisant des matériaux et des procédés qui réduisent au minimum la contrainte résiduelle de la structure du câble dans la fibre. Des structures élaborées de câble introduisant une composante circulaire à la biréfringence induite peuvent également être utilisées. Si la conception est élaborée, un tel effet peut compenser la biréfringence linéaire afin de produire un câble ayant une dispersion modale de polarisation résultante égale à zéro. Pour les fibres et les câbles, la dispersion modale de polarisation moyenne est en général comprise dans la plage:

$$0 < \langle \Delta\tau \rangle < 0,5 \text{ ps} / \sqrt{km}$$

En outre, les systèmes à fibres optiques améliorés permettent d'obtenir des valeurs de PMD plus faibles ($0,1 \text{ ps} / \sqrt{km}$ par exemple) comme indiqué plus haut.

De plus, une autre méthode, la compensation dynamique de PMD, permet de diminuer les effets du PMD. Un compensateur de PMD peut accepter en entrée des signaux affectés par le PMD et délivre en sortie un signal avec une distorsion réduite. Il se compose en général d'un égaliseur de PMD, d'un moniteur de PMD et d'un contrôleur à réaction. L'égaliseur et le moniteur peuvent être implémentés dans le domaine optique ou dans le domaine électrique; des solutions hybrides sont possibles. Le contrôleur à réaction prend des décisions sur la base de l'information monitorée conformément à un algorithme prédéfini et commande l'égaliseur en fonction des décisions. La compensation dynamique est, en général, effectuée longueur d'onde par longueur d'onde.

SÉRIES DES RECOMMANDATIONS UIT-T

Série A	Organisation du travail de l'UIT-T
Série B	Moyens d'expression: définitions, symboles, classification
Série C	Statistiques générales des télécommunications
Série D	Principes généraux de tarification
Série E	Exploitation générale du réseau, service téléphonique, exploitation des services et facteurs humains
Série F	Services de télécommunication non téléphoniques
Série G	Systèmes et supports de transmission, systèmes et réseaux numériques
Série H	Systèmes audiovisuels et multimédias
Série I	Réseau numérique à intégration de services
Série J	Réseaux câblés et transmission des signaux radiophoniques, télévisuels et autres signaux multimédias
Série K	Protection contre les perturbations
Série L	Construction, installation et protection des câbles et autres éléments des installations extérieures
Série M	RGT et maintenance des réseaux: systèmes de transmission, circuits téléphoniques, télégraphie, télécopie et circuits loués internationaux
Série N	Maintenance: circuits internationaux de transmission radiophonique et télévisuelle
Série O	Spécifications des appareils de mesure
Série P	Qualité de transmission téléphonique, installations téléphoniques et réseaux locaux
Série Q	Commutation et signalisation
Série R	Transmission télégraphique
Série S	Equipements terminaux de télégraphie
Série T	Terminaux des services télématiques
Série U	Commutation télégraphique
Série V	Communications de données sur le réseau téléphonique
Série X	Réseaux de données et communication entre systèmes ouverts
Série Y	Infrastructure mondiale de l'information et protocole Internet
Série Z	Langages et aspects généraux logiciels des systèmes de télécommunication