



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

UIT-T

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

G.663

Enmienda 1
(01/2003)

SERIE G: SISTEMAS Y MEDIOS DE TRANSMISIÓN,
SISTEMAS Y REDES DIGITALES

Características de los medios de transmisión –
Características de los componentes y los subsistemas
ópticos

Aspectos relacionados con la aplicación de los
dispositivos y subsistemas de amplificadores
ópticos

Enmienda 1: Enmiendas al apéndice II

Recomendación UIT-T G.663 (2000) – Enmienda 1

RECOMENDACIONES UIT-T DE LA SERIE G
SISTEMAS Y MEDIOS DE TRANSMISIÓN, SISTEMAS Y REDES DIGITALES

CONEXIONES Y CIRCUITOS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES	G.100–G.199
CARACTERÍSTICAS GENERALES COMUNES A TODOS LOS SISTEMAS ANALÓGICOS DE PORTADORAS	G.200–G.299
CARACTERÍSTICAS INDIVIDUALES DE LOS SISTEMAS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES DE PORTADORAS EN LÍNEAS METÁLICAS	G.300–G.399
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SISTEMAS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES EN RADIOENLACES O POR SATÉLITE E INTERCONEXIÓN CON LOS SISTEMAS EN LÍNEAS METÁLICAS	G.400–G.449
COORDINACIÓN DE LA RADIOTELEFONÍA Y LA TELEFONÍA EN LÍNEA	G.450–G.499
EQUIPOS DE PRUEBAS	G.500–G.599
CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN	G.600–G.699
Generalidades	G.600–G.609
Cables de pares simétricos	G.610–G.619
Cables terrestres de pares coaxiales	G.620–G.629
Cables submarinos	G.630–G.649
Cables de fibra óptica	G.650–G.659
Características de los componentes y los subsistemas ópticos	G.660–G.699
EQUIPOS TERMINALES DIGITALES	G.700–G.799
REDES DIGITALES	G.800–G.899
SECCIONES DIGITALES Y SISTEMAS DIGITALES DE LÍNEA	G.900–G.999
CALIDAD DE SERVICIO Y DE TRANSMISIÓN	G.1000–G.1999
CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN	G.6000–G.6999
EQUIPOS TERMINALES DIGITALES	G.7000–G.7999
REDES DIGITALES	G.8000–G.8999

Para más información, véase la Lista de Recomendaciones del UIT-T.

Recomendación UIT-T G.663

Aspectos relacionados con la aplicación de los dispositivos y subsistemas de amplificadores ópticos

Enmienda 1

Enmiendas al apéndice II

Resumen

En esta enmienda se presentan cambios de redacción y actualizaciones técnicas a la cláusula II.4.1 del apéndice II a la Recomendación UIT-T G.663 (versión de 04/2000), relativos a la dispersión por modo de polarización.

Orígenes

La enmienda 1 a la Recomendación UIT-T G.663 (2000), preparada por la Comisión de Estudio 15 (2001-2004) del UIT-T, fue aprobada por el procedimiento de la Resolución 1 de la AMNT el 31 de enero de 2003.

PREFACIO

La UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) es el organismo especializado de las Naciones Unidas en el campo de las telecomunicaciones. El UIT-T (Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT) es un órgano permanente de la UIT. Este órgano estudia los aspectos técnicos, de explotación y tarifarios y publica Recomendaciones sobre los mismos, con miras a la normalización de las telecomunicaciones en el plano mundial.

La Asamblea Mundial de Normalización de las Telecomunicaciones (AMNT), que se celebra cada cuatro años, establece los temas que han de estudiar las Comisiones de Estudio del UIT-T, que a su vez producen Recomendaciones sobre dichos temas.

La aprobación de Recomendaciones por los Miembros del UIT-T es el objeto del procedimiento establecido en la Resolución 1 de la AMNT.

En ciertos sectores de la tecnología de la información que corresponden a la esfera de competencia del UIT-T, se preparan las normas necesarias en colaboración con la ISO y la CEI.

NOTA

En esta Recomendación, la expresión "Administración" se utiliza para designar, en forma abreviada, tanto una administración de telecomunicaciones como una empresa de explotación reconocida de telecomunicaciones.

PROPIEDAD INTELECTUAL

La UIT señala a la atención la posibilidad de que la utilización o aplicación de la presente Recomendación suponga el empleo de un derecho de propiedad intelectual reivindicado. La UIT no adopta ninguna posición en cuanto a la demostración, validez o aplicabilidad de los derechos de propiedad intelectual reivindicados, ya sea por los miembros de la UIT o por terceros ajenos al proceso de elaboración de Recomendaciones.

En la fecha de aprobación de la presente Recomendación, la UIT ha recibido notificación de propiedad intelectual, protegida por patente, que puede ser necesaria para aplicar esta Recomendación. Sin embargo, debe señalarse a los usuarios que puede que esta información no se encuentre totalmente actualizada al respecto, por lo que se les insta encarecidamente a consultar la base de datos sobre patentes de la TSB.

© UIT 2003

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

Recomendación UIT-T G.663

Aspectos relacionados con la aplicación de los dispositivos y subsistemas de amplificadores ópticos

Enmienda 1

Enmiendas al apéndice II

1) Cláusula 2 – Referencias

Añádanse las siguientes nuevas referencias:

- [18] Recomendación UIT-T G.691 (2000), *Interfaces ópticas para los sistemas monocanal STM-64 y STM-256 y otros sistemas de la jerarquía digital sincrona con amplificadores ópticos.*
- [19] CEI 61282-3:2002, *Fibre optic communication system design guides – Part 3: Calculation of polarization mode dispersion.*

2) Cláusula II.4.1

Reemplácese la cláusula II.4.1 como sigue:

II.4.1 Dispersión por modo de polarización

II.4.1.1 Descripción de los efectos

Es bien sabido que el modo fundamental de un guíaondas dieléctrico circularmente simétrico es doblemente degenerado. En una fibra óptica real, esta degeneración está dividida por birrefringencia. La birrefringencia puede introducirse deliberadamente, como por ejemplo en las fibras que mantienen la polarización, o ser un producto marginal no deseado en la fabricación de la fibra o en la fabricación del cable. En este caso, la birrefringencia es introducida de manera aleatoria mediante, por ejemplo, perturbaciones geométricas o inducida por esfuerzos mecánicos.

Las constantes de propagación, $\beta_i(\omega)$, de los dos modos ortogonales pueden ser desarrolladas por una serie Taylor alrededor de la frecuencia central, ω_0 ;

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

donde $\beta_i(\omega_0)$ es la velocidad de fase v_p , $\left. \frac{\partial \beta_i}{\partial \omega} \right|_{\omega=\omega_0}$ está relacionado con la velocidad de grupo v_g , y $\left. \frac{\partial^2 \beta_i}{\partial \omega^2} \right|_{\omega=\omega_0}$ está relacionado con la dispersión de la velocidad de grupo (o dispersión cromática, D), etc.

Con el desarrollo de fibras con dispersión desplazada y el empleo de sistemas que funcionan cerca de la longitud de onda de dispersión cero, la contribución aportada por el término de segundo orden a la dispersión, o dispersión cromática, se reduce, y el término de primer orden puede hacerse entonces apreciable. En el caso de fibras birrefringentes, este término de primer orden conduce a un retardo de grupo denominado dispersión por polarización. Esta dispersión por polarización introduce un retardo de grupo diferencial entre estados de polarización ortogonales. Aunque el efecto de la dispersión por modo de polarización (PMD, *polarization mode dispersion*) es cambiar aleatoriamente el estado de polarización de un impulso que se propaga en una fibra, es posible

definir un par de estados ortogonales o estados principales a la entrada cuyos estados de salida son ortogonales y no presentan ninguna dependencia de la longitud de onda hasta el primer orden. (En algunas situaciones, sin embargo, esta aproximación no es adecuada y los estados principales pueden mostrar una dependencia de la longitud de onda, lo que conduce a una ulterior degradación del sistema a través de un acoplamiento con la dispersión cromática.)

Como se ha dicho en el párrafo anterior, la birrefringencia introducida en la fibra es causada por mecanismos locales aleatorios y asimétricos como el esfuerzo mecánico, la flexión y la torsión. Estos mecanismos aleatorios de la birrefringencia redefinen los ejes de birrefringencia locales a lo largo de la fibra, causando así un acoplamiento aleatorio entre los modos de polarización a lo largo de la fibra. El proceso de cableado también provoca birrefringencia aleatoria y acoplamiento aleatorio de modos. Para referirse a la longitud de la fibra entre los puntos en que se producen esos cambios se suele hablar de longitud de acoplamiento, que se expresa usualmente como el promedio del conjunto de todas las longitudes de acoplamiento local de una fibra. Además, los cambios en las condiciones ambientales locales, de temperatura por ejemplo, producen fluctuaciones en los ejes de birrefringencia locales, lo que a su vez produce un acoplamiento de polarización aleatorio. Como resultado del acoplamiento de polarización que cambia aleatoriamente, la magnitud del retardo de grupo diferencial se convierte en una función con variación estadística. Puede demostrarse que la distribución de los retardos de grupo diferenciales (DGD, *differential group delay*) corresponde a una función de distribución de Maxwell definida por:

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

donde $\Delta\tau$ es el retardo de grupo diferencial entre los dos estados principales, y $\langle \Delta\tau \rangle$ es el retardo de grupo diferencial medio (conocido como valor de la PMD). Como consecuencia de la naturaleza estadística de la dispersión por modo de polarización, la magnitud de $\langle \Delta\tau \rangle$ aumenta proporcionalmente a la raíz cuadrada de la longitud de la fibra, o del cable, para longitudes mucho mayores que la longitud de acoplamiento. La dispersión por modo de polarización se suele expresar en unidades de ps o ps/ $\sqrt{\text{km}}$. Generalmente, la unidad de ps está reservada para elementos ópticos individuales que tienen una dispersión fija (por ejemplo, un acoplador o un aislador) o secciones cortas de fibra que no presentan acoplamiento de modos.

II.4.1.2 Limitaciones de transmisión inducidas

En un sistema de transmisión digital, el principal efecto de la dispersión por modo de polarización es una interferencia entre símbolos. Como una regla práctica aproximada, se pierde 1 dB cuando el retardo de grupo diferencial instantáneo total es igual a 0,3 T, los dos estados principales de polarización están igualmente excitados ($\gamma = 0,5$), donde T es el periodo de un bit. Este es el valor que se utiliza con frecuencia para la máxima pérdida de potencia de sistema tolerable y, de la misma manera, también se puede considerar el DGD instantáneo como el valor de sistema tolerable máximo, es decir $\text{DGD}_{\text{máx}} \leq 0,3T$. Hay que determinar la relación entre los valores de $\text{DGD}_{\text{máx}}$ y PMD basándose en la distribución de probabilidad de Maxwell, aplicando un factor de ajuste adecuado, que corresponda a la máxima probabilidad de interrupción deseada. Por ejemplo, un factor de ajuste 3, es decir $\text{DGD}_{\text{máx}} = 3 \cdot \text{PMD}$, corresponde a una probabilidad de interrupción de 4×10^{-5} aproximadamente, como se indica en la Rec. UIT-T G.691 [18]. Los sistemas de velocidad binaria mayor tienen periodos de bits más cortos, por lo que toleran menos retardo de grupo diferencial. Algunos estudios recientes, véase CEI 61282-3 [19], indican que las fibras y cables ópticos se especificarán bien sea mediante el $\text{DGD}_{\text{máx}}$ definido anteriormente, o mediante el nivel medio del retardo de grupo diferencial (el valor de la PMD). Si se utiliza el valor del ejemplo (factor de ajuste igual a 3) la regla de diseño de sistema para la degradación por PMD sería: $\text{PMD} \leq 0,1T$.

Se ha propuesto una especificación estadística de 0,5 ps/sqrt(km) para enlaces concatenados de cable de fibra óptica en los sistemas ópticos de transmisión que funcionan a 10 Gbit/s. Según la estadística de Maxwell la probabilidad de que la degradación a 10 Gbit/s sea superior a 1 dB en un tramo de 400 km es inferior a 4×10^{-5} (véase la Rec. UIT-T G.691). En este caso no se tiene en cuenta la contribución de otros componentes de PMD. Por tanto, la degradación por PMD puede considerarse como una penalidad de potencia del sistema combinada con una probabilidad de que se supere esta penalidad.

El retardo de grupo diferencial medio de sistemas que funcionan a 40 Gbit/s, igual a una décima parte de un periodo de un bit, es decir 0,1 T, corresponde a 2,5 ps. En general, se puede atribuir parte de este valor tolerado al cable y parte a los repetidores ópticos, conforme a las características de enlace (criterio PMD de calidad de las fibras y subsistemas utilizados).

La PMD total de un enlace que incluye fibras y subsistemas ópticos es igual a la suma cuadrática (raíz cuadrada de la suma de los cuadrados) de los valores de PMD de la fibra y de los subsistemas:

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

donde

PMD_{TOT}: PMD TOTAL del enlace (ps)

PMD_F: PMD de cables de fibra óptica concatenados (ps)

PMD_{Ci}: Valor de la PMD del i-ésimo subsistema (ps)

Por ejemplo, si el valor de la PMD de los cables de fibra óptica concatenados del enlace es 0,1 ps/sqrt(km), (un valor que es aconsejable para sistemas que funcionan a 40 Gbit/s), la contribución del cable a la PMD es 2,0 ps en enlaces de 400 km de longitud. Conforme a la fórmula citada, existe aún un margen de 1,5 ps para la contribución de los subsistemas ópticos a la PMD. Si se supone que se utilizan 4 subsistemas, ópticos cuyo valor de PMD es 0,6 ps, la PMD total será inferior al límite de 2,5 ps mencionado para los sistemas de 40 Gbit/s.

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

La degradación por la PMD de segundo orden o un orden más alto podría ser significativa. Esto queda en estudio.

Por otra parte, en sistemas de larga distancia, con amplificadores, que emplean pseudoaleatorizadores de polarización (dispositivos que deliberadamente modulan el estado de polarización de un láser de señal, de modo que aparezca como no polarizado), la dispersión por modo de polarización hace que aumente el grado de polarización de la señal. Esto degrada la calidad de funcionamiento del sistema al producirse interacciones con la pérdida dependiente de la polarización y la quemadura de hueco por polarización (véanse las cláusulas siguientes). En un sistema analógico, la interacción de la dispersión por modo por polarización con el silbido del láser conduce a una distorsión de segundo orden proporcional a la frecuencia de modulación. Se sufre una ulterior penalidad de segundo orden, independiente de la frecuencia de modulación, cuando está presente en el sistema una pérdida adicional dependiente de la polarización.

También se ha demostrado, y se ha mencionado brevemente con anterioridad, que un efecto de segundo orden puede producir un acoplamiento entre la dispersión por modo de polarización y la dispersión cromática. Esto se produce porque el retardo de grupo diferencial depende de la longitud de onda, y lo que es más importante, porque los principales estados de polarización dependen de la longitud de onda. Esto conduce a una contribución estadística a la dispersión cromática. Este es un tema que todavía no se comprende bien y se encuentra en estudio. El uso de dispositivos compensadores de la dispersión cromática también tiene consecuencias poco claras sobre la

penalidad PMD. Las consecuencias de una mayor potencia de canal inyectada sobre la PMD también quedan en estudio.

En los sistemas de 1550 nm con amplificación, el efecto de la PMD podría ser más significativo en las fibras más antiguas utilizadas en sistemas PDM de 10 Gbit/s o velocidades superiores, que en las fibras más modernas G.652, G.653 o G.655.

II.4.1.3 Métodos para minimizar la limitación inducida

Dado que el problema tiene su origen en la birrefringencia, una gran parte de los trabajos destinados a reducir los efectos de la distorsión por modo de polarización se ha concentrado en la minimización de la birrefringencia introducida por la fabricación de la fibra o cable. Se ha tomado la precaución de optimizar la producción de la fibra para asegurar la simetría circular geométrica y óptica, y/o para inducir el acoplamiento entre modos de polarización. En la fabricación de los cables ópticos se emplean materiales y procesos que minimizan el esfuerzo residual en la estructura del cable a través del núcleo de la fibra. Se pueden utilizar también estructuras de cable más complejas que introducen un componente circular en la birrefringencia inducida. Mediante un diseño cuidadoso, tal efecto puede contrarrestar la birrefringencia lineal para producir un cable con una dispersión por modo de polarización resultante igual a cero. Típicamente, la dispersión por modo de polarización media de las fibras y cables está comprendida en la gama:

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

Además, como ya se dijo, el mejor diseño de algunas fibras ha reducido el valor de la PMD, por ejemplo 0,1 ps/sqrt(km).

Existe también otro método para reducir el efecto de la PMD: la compensación dinámica de PMD. Un compensador de PMD toma una señal afectada por la PMD y devuelve una señal con menor distorsión. En general, consta de un ecualizador de PMD, un sistema de comprobación (monitor) de PMD y un controlador de realimentación. Tanto el ecualizador como el monitor pueden funcionar en un entorno óptico o eléctrico, y se puede diseñar una solución mixta o híbrida. El controlador de realimentación toma decisiones sobre la base de la información obtenida por los mecanismos de comprobación, conforme a un algoritmo predeterminado, y determina la acción del ecualizador. Esta forma de compensación dinámica de PMD se aplica actualmente discriminando por canales y longitud de onda.

SERIES DE RECOMENDACIONES DEL UIT-T

Serie A	Organización del trabajo del UIT-T
Serie B	Medios de expresión: definiciones, símbolos, clasificación
Serie C	Estadísticas generales de telecomunicaciones
Serie D	Principios generales de tarificación
Serie E	Explotación general de la red, servicio telefónico, explotación del servicio y factores humanos
Serie F	Servicios de telecomunicación no telefónicos
Serie G	Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales
Serie H	Sistemas audiovisuales y multimedia
Serie I	Red digital de servicios integrados
Serie J	Redes de cable y transmisión de programas radiofónicos y televisivos, y de otras señales multimedia
Serie K	Protección contra las interferencias
Serie L	Construcción, instalación y protección de los cables y otros elementos de planta exterior
Serie M	RGT y mantenimiento de redes: sistemas de transmisión, circuitos telefónicos, telegrafía, facsímil y circuitos arrendados internacionales
Serie N	Mantenimiento: circuitos internacionales para transmisiones radiofónicas y de televisión
Serie O	Especificaciones de los aparatos de medida
Serie P	Calidad de transmisión telefónica, instalaciones telefónicas y redes locales
Serie Q	Conmutación y señalización
Serie R	Transmisión telegráfica
Serie S	Equipos terminales para servicios de telegrafía
Serie T	Terminales para servicios de telemática
Serie U	Conmutación telegráfica
Serie V	Comunicación de datos por la red telefónica
Serie X	Redes de datos y comunicación entre sistemas abiertos
Serie Y	Infraestructura mundial de la información y aspectos del protocolo Internet
Serie Z	Lenguajes y aspectos generales de soporte lógico para sistemas de telecomunicación