采用后向散射技术的 单模光纤色散均匀性测量

1 技术背景

众所周知,色散是单模光纤的一个重要特征参数。在光纤通信采用波分复用(WDM) 特别是密集波分复用(DWDM)技术进程中,基于非线性光学理论,为了改善和消除四波 混频非线性效应,对专门用于 DWDM 传输系统所设计的新型单模光纤[如非零色散位移光 纤(NZDSF)即 G655 光纤以及此后的宽带 NZDSF 即 G656 光纤]色散特性有特殊要求。 国际上 IEC 和 ITU-T 均为此提出了相关规范建议,如前者非零色散区色散系数规定在 0.1~ 6ps/nm•km之间,随后修改确定为 1~10ps/nm•km;后者非零色散区色散系数规定在 2~ 14ps/nm•km之间。非零而小量的色散能有效地消除产生非线性的相位匹配条件,从而抑制 四波混频。

一般我们进行的色散测量所得到的是被测量光纤段的平均色散,在预计评估通信链路在 信号接收端由于色散导致信号脉冲失真从而造成误码时,这样的量值已给出了所需的足够信 息。而现在的问题是基于四波混频非线性产生的机制,沿着光信号传输路径逐点的色散特性 是否满足上述非零色散条件至关重要。这就提出了色散的均匀性问题,而对其进行有效的测 量显然是一个十分有意义的课题。以下对一种基于后向散射(backscattering)技术的单模光 纤色散均匀性的测量方法作一简要介绍。

2 基本原理扼要

迄今为止,能提供沿光纤传输路径逐点信息的,非后向散射技术莫属。采用后向散射技术测量模场直径(MFD)早有报道。这里通过测量诸如 MFD 分布、相对折射率差分布等分别导出波导色散分布和材料色散分布,从而得到色散沿被测光纤路径的分布,即色散均匀性。 3 测量装置

作为人们熟知的后向散射技术测量装置在这里不作重复介绍,仅对本测量所需的基准 (reference)光纤作一说明。测量时置于被测光纤两端并分别与这两端相接的基准光纤,其 折射率分布应与被测光纤相类似;应适当限制其长度以保持较好的纵向均匀性,但应大于后 向散射测量的输入盲区;此外,基准光纤的 MFD 应作为波长的函数被测量。该基准光纤通 过后向散射测量可用于估算 MFD 和折射率差的绝对值。 4 测量方法和步骤

a)将基准光纤分别与被测光纤两端相连接。

b)按照下列说明,利用两分别测得和记录的单向后向散射损耗曲线,得到双向后向散射损耗曲线:

设 *S*₁(*x*)和 *S*₂(*z*)分别为以 dB 表示的两个单向后向散射损耗函数曲线, *x* 和 *z* 分别为离各自注入点的距离, *L*=*x*+*z*。双向后向散射损耗曲线由下式给出:

$$I(x,z) = [S_1(x,\lambda) + S_2(L-x,\lambda)]/2$$
(1)

c)根据下列计算,得到由基准光纤中 x₀位置处损耗归一的损耗:

 $I_{n}(x,\lambda) = I(x,\lambda) - I(x_{0},\lambda)$

$$= 20 \lg \left[W(x_0, \lambda) / W(x, \lambda) \right] + 10 \lg \left\{ \left[1 + 0.62 \varDelta(x) / 1 + 0.62 \varDelta(x_0) \right] \left[50 - \varDelta(x) / 50 - \varDelta(x_0) \right] \right\}$$

(2)

=20lg $[W(x_0,\lambda)/W(x,\lambda)] +k$

式中,系数 k 定义为:

$$K = 10 \lg \{ [1 + 0.62 \Delta(x)/1 + 0.62 \Delta(x_0)] [50 - \Delta(x)/50 - \Delta(x_0)] \}$$
(3)

d)按下列计算得到 MFD 分布 2W(x,λ):

设基准光纤中 x_0 位置处的 MFD 为 $2W(x_0,\lambda)$, MFD 分布由下式给出:

$$2W(x,\lambda) = 2W(x_0,\lambda)10^{(-\ln(x,\lambda)+k)/20}$$
(4)

如果基准光纤和被测光纤具有相同的折射率分布和相对折射率差,则系数 k=0。

如果被测光纤相对折射率差不同于基准光纤,则事先通过式(3)确定系数 k,并确定 被测光纤 x 位置处的 MFD。

MFD 分布由下式给出:

$$2W(x,\lambda) = 2W(x_0,\lambda) 10^{(-g\ln(x,\lambda)+f)/20}$$
(5)

式中:g、f为与波长、光纤结构有关的调节因子。

e)在两个或两个以上不同波长下重复上述步骤。

f)利用上述模场半径 $W(x,\lambda)$,得到满足下式的系数 $g_0(x)$ 、 $g_1(x)$ 和 $g_2(x)$:

$$W(x,\lambda) = g_0(x)\lambda + g_1(x)\lambda^{1.5} + g_2(x)\lambda^6$$
(6)

(三个或三个以上波长)

或

$$W(x,\lambda) = g_0(x)\lambda + g_1(x)\lambda^{1.5}$$
(7)

(两个或两个以上波长)

上述表达式可对数据 W(x, \lambda_i)(i=1,2,...,n)进行最小二乘法拟合计算。

通过下式得到波导色散分布 D_w(x,λ):

 $D_{\rm w}(x,\lambda) = \left[\lambda/2\pi^2 cnW(x,\lambda)^2\right] \left[1 - (2\lambda/W(x,\lambda))\right] \left[3/2g_1(x)\lambda^{0.5} + 6g_2(x)\lambda^5\right] \text{ (ps/nm km)} (8)$

(三个或三个以上波长)

或

$$D_{w}(x,\lambda) = \left[\lambda/2\pi^{2}cnW(x,\lambda)^{2}\right] \left\{1 - \left[3g_{1}(x)\lambda^{1.5}/W(x,\lambda)\right]\right\}$$
(9)

(两个或两个以上波长)

式中: c和 n分别为光速(m/s)和光纤芯最大折射率。

g)按下列步骤可得到相对折射率差分布 Δ(x) (%):

如果基准光纤和被测光纤具有相同折射率分布,则利用 MFD 2 $W(x_0,\lambda)$ 、光纤芯直径 2 $a(x_0)$ 和截止波长 $\lambda_c(x_0)$ 获得满足下式在基准光纤处的系数 c_0 、 c_1 和 c_2 :

 $W(x_0,\lambda)/a \ (x_0) = c_0 + c_1 \ (\lambda/\lambda_c \ (x_0))^{-1.5} + c_2 \ (\lambda/\lambda_c \ (x_0))^{-6}$ (10)

利用以上系数 c_0 、 c_1 和 c_2 , 计算作为截止波长 λ_c 函数的两个波长 (λ_1 和 λ_2)下的 MFD 之比 R_w 的特性:

 $R_{\rm w} = 2W(\lambda_1)/2W(\lambda_2) = [c_0 + c_1(\lambda_1/\lambda_c)^{1.5} + c_2(\lambda_1/\lambda_c)^6][c_0 + c_1(\lambda_2/\lambda_c)^{1.5} + c_2(\lambda_2/\lambda_c)^6] \quad (11)$

确定两个波长处 MFD 之比和截止波长 λ。之间的近似函数。

将以上的近似函数用于测得的 MFD 分布之比得到截止波长分布 $\lambda_c(x)$ 。

将 MFD 2W(x)和截止波长 $\lambda_c(x)$ 代入 10 式得到光纤芯直径分布 2a(x)。

利用下式得到相对折射率差分布 Δ(x) (%):

 $\Delta(x) = [a(x_0)/a(x)]^2 [\lambda_c(x)/\lambda_c(x_0)]^2 \Delta(x_0)$ (12)

h)利用上述相对折射率差分布 $\Delta(x)$ 得到材料色散分布 $D_m(x,\lambda)$ (ps/nm km)。

这里材料色散的近似式可作为波长和相对折射率差的函数被得到。

由下式能对材料色散 D_m(λ)进行评估:

$D_{\rm m}(\lambda) = -(\lambda/c)d^2n(\lambda)/d\lambda^2$	(13)
$n^{2}(\lambda) - 1 = \sum_{i=1}^{k} B_{i} \lambda^{2} / (\lambda^{2} - A_{i}^{2})$	(14)

式中: $A_i \cap B_i$ 为 Sellmeier 系数,它们是对应于相对折射率差 Δ 的掺杂量的函数。

利用上述(13)、(14)式计算相对于 Δ 的材料色散函数 $D_{m}(\lambda)$ 。由下式得到相对于 Δ 的材料色散:

 $D_{\rm m}(\lambda) = m_1(\lambda) + h \Delta m_2(\lambda) \tag{15}$

式中 h 为常数。

根据下式得到色散分布 $D(x,\lambda)$ (ps/nm km):

$$D(x,\lambda) = D_{\rm m}(x,\lambda) + D_{\rm w}(x,\lambda) \tag{16}$$

至此,得到上述色散分布 D(x, \lambda),即单模光纤色散沿纵向的均匀性。

[参考文献]

 $ITU-T~G.650.1~(07/2010) \quad SERIES~G:~TRANSMISSION~SYSTEMS~AND~MEDIA,~DIGITAL~SYSTEMS~AND~STRANSMISSION~SYSTEMS~AND~MEDIA,~DIGITAL~SYSTEMS~AND~STRANSMISSION~SYSTEMS~AND~MEDIA,~DIGITAL~SYSTEMS~AND~STRANSMISSION~SYSTEMS~AND~STRANSMISSION~SYSTEMS~AND~STRANSMISSION~SYSTEMS~AND~STRANSMISSION~SYSTEMS~AND~STRANSMISSION~SYSTEMS~AND~STRANSMISSION~SYSTEMS~AND~STRANSMISSION~SYSTEMS~AND~STRANSMISSION~SYSTEMS~AND~STRANSMISSION~SYSTEMS~STRANSMISSIONS~STRANSMISSION~SYSTEMS$

NETWORKS Transmission media characteristics-Optical fibre cables Definitions and test methods for linear,

deterministic attributes of single-mode fibre and cable % I = I = I = I = I = I = I Appendix I = I = I = I = I = I