

文章编号: 0253-2239(2001)01-0028-04

入射偏振对有线电视光发射机受激布里渊 散射抑制性能的影响*

杨建良^{1), 2)} 涂 涛¹⁾ 查开德¹⁾

1), 清华大学电子工程系, 北京 100084
2), 湘潭大学电子工程系, 湘潭 411105

摘要: 受激布里渊散射(SBS)的抑制性能是光纤调幅有线电视外调制发射机的关键指标之一。从理论上分析了入射偏振分别为 TE 与 TM 模时,对发射机受激布里渊散射抑制性能的影响。分析计算显示:入射光偏振态模式为 TE 模最佳。还对入射偏振态偏离 TE 模的情形进行了分析,表明为保证发射机对受激布里渊散射抑制性能,入射光偏离 TE 模的角度应小于 10°。

关键词: 光纤调幅有线电视; 外调制发射机; 受激布里渊散射; 偏振

中图分类号: O437 文献标识码: A

1 引 言

外调制光纤调幅有线电视系统具有很多独特优点,如输出功率高;无频率啁啾;对链路反射不敏感;经合理偏置后可本征消除偶次失真,得到很高的复合二阶失真指标等^[1],因而逐渐成为有线电视光纤传输系统中的主流机型。外调制光纤有线电视发射机的关键指示之一就是受激布里渊散射的抑制性能^[2,3]。实用的外调制发射机中都必须采用附加相位调制或激光器高频抖动等有效的受激布里渊散射抑制技术。为研究入射光偏振态模式对受激布里渊散射的影响,本文首先分析得到了入射偏振分别为 TE 与 TM 模时 LiNbO₃ 相位调制器的半波电压值,在此基础上分析了附加调相抑制受激布里渊散射时入射光偏振态模式对发射机受激布里渊散射抑制性能的影响,并分析计算了入射光偏离 TE 模时系统受激布里渊散射抑制性能的变化。

2 LiNbO₃ 相位调制器的入射光偏振模式

在外调制光发射机中实际使用的相位调制器 PM 与平衡桥干涉型强度调制器一般集成在同一块 LiNbO₃ 基片上,并封装在一起,如图 1 所示。LiNbO₃ 为六角单轴晶体,未加外电场时,在主轴

xyz 下,其折射率椭球方程为

$$(x^2 + y^2)/n_o^2 + z^2/n_e^2 = 1, \quad (1)$$

式中, n_o 为寻常光折射率, n_e 为非常光折射率。外加电场后,晶体折射率会发生变化,此即电光效应。当在 z 轴方向外加电场 E_z 时,晶体折射率椭球方程变为^[4]

$$\frac{x^2 + y^2}{(n_o + \Delta n_o)^2} + \frac{z^2}{(n_e + \Delta n_e)^2} = 1. \quad (2)$$

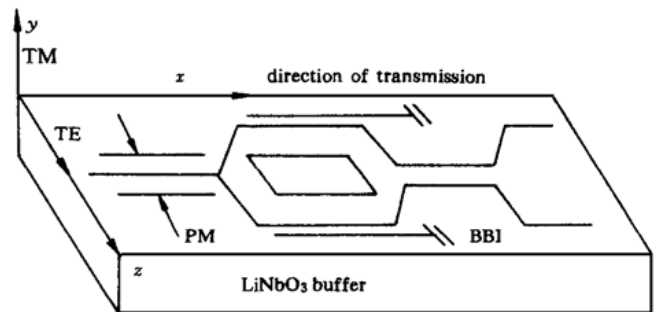


Fig. 1 Phase modulator cascaded before the BBI intensity modulator

外加电场 E_z 后晶体折射率椭球发生形变,即主轴方向上折射率发生变化,变化量为

$$\begin{aligned} \Delta n_o &= - (1/2) n_o^3 r_{13} E_z, \\ \Delta n_e &= - (1/2) n_e^3 r_{33} E_z, \end{aligned} \quad (3)$$

式中, r_{13} 、 r_{33} 为 LiNbO₃ 晶体的线性电光系数张量矩阵元素^[4]。对图 1 中 y 切 LiNbO₃ 相位调制器,传输光沿 x 方向,外加电场沿 z 轴^[5]。由折射率椭球方程,可以求出以 TE、TM 模入射的光信号经过相位调制器后其相位变化分别为

* 中国博士后科研基金与华为科技基金资助项目。

收稿日期: 1999-06-18; 收到修改稿日期: 1999-09-23

$$\begin{aligned}\Delta\phi_{\text{TE}} &= (\pi/\lambda) n_e^3 r_{33} E_z l, \\ \Delta\phi_{\text{TM}} &= (\pi/\lambda) n_0^3 r_{13} E_z l,\end{aligned}\quad (4)$$

从而得到 LiNbO₃ 相位调制器对 TE、TM 模的半波电压分别为

$$\begin{aligned}V_{\pi}^{\text{TE}} &= (\mathcal{N} n_e^3 r_{33}) (d/l), \\ V_{\pi}^{\text{TM}} &= (\mathcal{N} n_0^3 r_{13}) (d/l),\end{aligned}\quad (5)$$

式中, l 为相位调制器电极长度, d 为电极间距。由 $n_0 = 2.29$, $n_e = 2.2$, $r_{33} = 30.8$, $r_{13} = 8.6^{[5]}$, 可以求得

$$V_{\pi}^{\text{TM}}/V_{\pi}^{\text{TE}} = n_e^3 r_{33}/n_0^3 r_{13} \approx 3.17, \quad (6)$$

即 TM 模的半波电压约是 TE 模的 3 倍。

3 附加相位调制抑制受激布里渊散射的原理

受激布里渊散射过程可经典地描述为抽运波、斯托克斯波和声波之间的参量过程。抽运光引起的折射率光栅通过布拉格衍射散射抽运光, 以声速运动的光栅引起多普勒频移, 使散射斯托克斯光产生频率下移, 类似于受激拉曼散射。与受激拉曼散射不同的是受激布里渊散射产生的斯托克斯波仅向后传播^[2]。由于普通单模光纤中受激布里渊散射阈值功率约为 7 dBm, 而外调制有线电视光发射机输出功率一般较大, 且常常还要加掺铒光纤放大器以便传送更远或分配更多网络, 因而注入传输链路光功率会远大于受激布里渊散射阈值功率, 这样, 在外调制有线电视系统中, 受激布里渊散射现象最易发生。在外调制有线电视光发射机中采用附加相位调制法抑制受激布里渊散射, 其物理本质是将光谱展宽, 将光信号能量分布到大量的光载波上, 降低光功率谱能量密度, 使单位频率功率下降, 其效果相当于对应受激布里渊散射的每一光频率的阈值增加。

下面对此进行定量分析。为简单起见, 设外调制光纤有线电视系统仅有一个射频调制信号加在平衡桥强度调制器上, 其频率为 ω_i , 强度调制度为 m 。当在相位调制器上加一高频信号 $v(t) = V \sin \Omega t$ 对光载波进行相位调制时, 设相位调制度为 β , 则外调制光发射机输出光场的幅度(即注入光纤的光场幅度) E 为

$$E = \sqrt{2P_0(1+m \cos \omega_i t)} \cos(\omega_0 t + \beta \sin \Omega t), \quad (7)$$

式中 $\beta = \pi V/V_{\pi}$, V 为高频相位调制信号幅度, Ω 为其频率, V_{π} 为相位调制器半波电压, P_0 为相位调制器输入光功率, ω_0 为光载波频率。若令(7)式中 $\beta = 0$, 便可得到无相位调制时发射机输出的光场幅

度。将式(7)中的 $\sqrt{1+m \cos \omega_i t}$ 展开为傅里叶级数:

$$\sqrt{1+m \cos \omega_i t} = k_0 + k_1 \cos \omega_i t + k_2 \cos 2\omega_i t + \dots, \quad (8)$$

其中

$$\begin{aligned}k_0 &= \frac{\omega_i}{\pi} \int_0^{\pi/\omega_i} \sqrt{1+m \cos \omega_i t} dt, \\ k_n &= \frac{2\omega_i}{\pi} \int_0^{\pi/\omega_i} \sqrt{1+m \cos \omega_i t} \cos n\omega_i t dt\end{aligned}\quad (9)$$

对 $\cos(\omega_0 t + \beta \sin \Omega t)$ 进行贝塞尔函数展开得

$$\cos(\omega_0 t + \beta \sin \Omega t) = \sum_{l=-\infty}^{l=+\infty} J_l(\beta) \cos(\omega_0 + l\Omega)t. \quad (10)$$

将(8)式与(10)式代入(7)式, 再利用三角变换有

$$E = \frac{1}{2} \sqrt{2P_0} \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{l=-\infty}^{+\infty} k_n J_l(\beta) \times [\cos(\omega_0 + l\Omega + n\omega_i)t + \cos(\omega_0 + l\Omega - n\omega_i)t], \quad (11)$$

式中, $J_l(\beta)$ 为以 β 为参数的 l 阶第一类贝塞尔函数。

上述各频率分量中最大功率应为

$$(P_0/2) \max\{(k_n)^2, n = 0, 1, 2, 3, \dots\} \max\{[J_l(\beta)]^2, l = -\infty, \dots, 0, \dots, +\infty\}. \quad (12)$$

令 $\beta = 0$, 得无调相时最大功率分量

$$(P_0/2) \max\{(k_n)^2, n = 0, 1, 2, 3, \dots\}. \quad (13)$$

比较(12)式与(13)式可知: 采用附加相位调制后, 输入进光纤的光信号, 其最大功率分量较未调相时降低了, 即相当于受激布里渊散射阈值提高了, 其提高值用 dB 表示为

$$\begin{aligned}\Delta P_{\text{th}} &= -10 \log(\max\{[J_l(\beta)]^2, \\ & l = -\infty, \dots, 0, \dots, +\infty\}).\end{aligned}\quad (14)$$

4 入射光偏振模式对受激布里渊散射性能的影响

由上节分析及(14)式可知: 受激布里渊散射阈值提高值与调相信号对光载波的相位调制度 $\beta = \pi V/V_{\pi}$ 有关。而(6)式表明调制器对 TE、TM 模的半波电压 V_{π} 不一样, TM 模半波电压约为 TE 模的 3 倍。即使调相信号不变, 对不同的输入光模式, 其相位调制度不同, 因而发射机的受激布里渊散射阈值将是不同的。图 2 为以 $V_{\pi}^{\text{TE}} = 8.7 \text{ V}^{[6]}$ 、 $V_{\pi}^{\text{TM}} = 3.17 V_{\pi}^{\text{TE}}$, 根据式(14)计算的受激布里渊散射阈值提高量与调相信号幅度的关系曲线。当调相信号超过 3 伏时, 在相同的调相信号幅度下, 发射机的受激

布里渊散射阈值的提高量对 TE、TM 模是很不相同的,相差 2 dB~ 4 dB 左右。为得到相同的受激布里渊散射抑制效果,对于入射光为 TM 模的情形,外加调相信号幅度必须是入射光为 TE 模时的 3 倍以上才行,如图中两条曲线各自第一个极大点其纵坐标相等,而横坐标相差大约 3 倍。而过高功率的微波信号对相位调制器是不利的,从保护相位调制器不受损害出发,同时也为提高受激布里渊散射抑制效率,相位调制器的入射光以 TE 模为最佳。

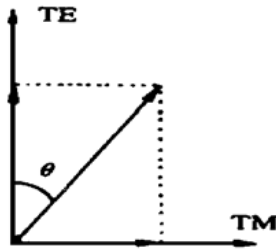


Fig. 2 Increase of SBS threshold vs amplitude of phase-modulating signal

5 入射偏振态偏离 TE 模受激布里渊散射性能的影响

由上面分析可知:为有效抑制受激布里渊散射及保护相位调制器不受损害,相位调制器的入射光应为 TE 模。本节分析当相位调制器入射光偏振态偏离 TE 模时对受激布里渊散射性能的影响。一般情形下,当入射光偏振态偏离 TE 模时,可将其分解成相互垂直的 TE 模与 TM 模,如图 3 所示。图中假设入射光偏振态偏离 TE 模的偏离角为 θ 。由式 (7) 可知, TE 模与 TM 模信号光场分别为

$$E^{\text{TE}} = \cos\theta \sqrt{2P_0} \sqrt{(1 + m \cos \omega_1 t)} \times \cos(\omega_0 t + \beta^{\text{TE}} \sin \Omega t), \quad (15)$$

$$E^{\text{TM}} = \sin\theta \sqrt{2P_0} \sqrt{(1 + m \cos \omega_1 t)} \times \cos(\omega_0 t + \beta^{\text{TM}} \sin \Omega t). \quad (16)$$

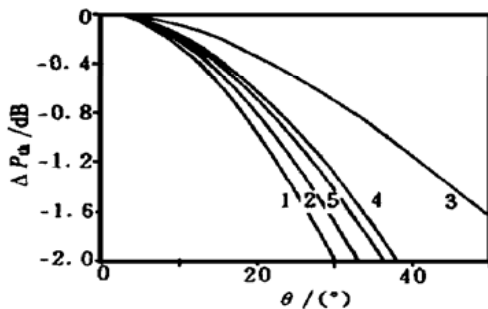


Fig. 3 Resolution of polarization state

按照前面(7)式~(12)式类似的推导,很容易得到发

射机输出光信号 TE 模与 TM 模各频率分量中最大功率分量分别为

$$P^{\text{TE}} = \cos^2\theta \frac{P_0}{2} \max\{(k_n)^2, n = 0, 1, 2, 3, \dots\} \times \max\{[J_l(\beta^{\text{TE}})]^2, l = -\infty, \dots, 0, \dots, +\infty\}, \quad (17)$$

$$P^{\text{TM}} = \sin^2\theta \frac{P_0}{2} \max\{(k_n)^2, n = 0, 1, 2, 3, \dots\} \times \max\{[J_l(\beta^{\text{TM}})]^2, l = -\infty, \dots, 0, \dots, +\infty\}. \quad (18)$$

因纯 TE 模入射时其最大功率分量为

$$P_0^{\text{TE}} = \frac{P_0}{2} \max\{(k_n)^2, n = 0, 1, 2, 3, \dots\} \times \max\{[J_l(\beta^{\text{TE}})]^2, l = -\infty, \dots, 0, \dots, +\infty\}. \quad (19)$$

因而,当入射光偏振态偏离 TE 模时,发射机输出光信号中最大功率分量与纯 TE 模入射时发射机输出光信号中最大功率分量的比值为

$$\Delta P = \frac{P^{\text{TE}} + P^{\text{TM}}}{P_0^{\text{TE}}} = \cos^2\theta + \sin^2\theta \frac{\max\{[J_l(\beta^{\text{TE}})]^2, l = -\infty, \dots, 0, \dots, +\infty\}}{\max\{[J_l(\beta^{\text{TM}})]^2, l = -\infty, \dots, 0, \dots, +\infty\}}. \quad (20)$$

可见此时输出光信号中最大功率分量增加了,相当于受激布里渊散射阈值下降了。

图 4 为据(19)式计算得出的受激布里渊散射阈值下降值与入射光偏振态偏离 TE 模程度(偏离角 θ)的关系曲线。其中曲线 1 代表相位调制信号幅度为 4 V(即图 2 中 TE 模的第一个极大点),曲线 3 代表调制信号幅度为 12.5 V(图 2 中 TM 模的第一个极大点),曲线 2、4、5 分别代表调制信号幅度为 8 V、16 V 与 20 V 的情形。

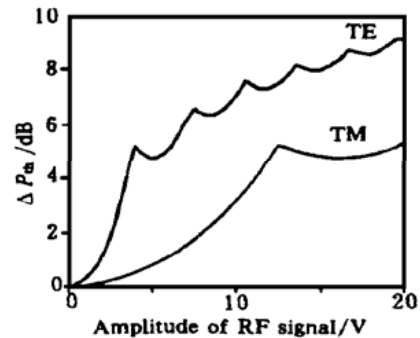


Fig. 4 Variation of SBS threshold vs deviation angle θ from the TE mode

由图 4 可知,随着入射光偏振态偏离 TE 模的

偏离角 θ 的增加, 受激布里渊散射阈值将逐步下降。曲线 1 代表的情形最差, 此时虽为 TE 模的第一个受激布里渊散射强抑制点, 但此时 TM 模的受激布里渊散射抑制度很小, 而 TM 模对受激布里渊散射性能的损伤最大。曲线 3 代表的情形最好, 因此时为 TM 模的第一个受激布里渊散射强抑制点。当偏离角达 30° 时, 受激布里渊散射阈值最坏将下降 2 dB。而为了保证系统的受激布里渊散射阈值的损伤在 0.2 dB 以内, 相位调制器入射光偏振态偏离 TE 模不能超过 10° 。

结语 本文主要研究入射偏振态模式及其变化对光纤调幅有线电视外调制发射机受激布里渊散射抑制性能的影响。文中首先分析得到了入射偏振分别为 TE 与 TM 模时 LiNbO_3 相位调制器的半波电压值; 在此基础上分析了附加相位调制法抑制受激布里渊散射时入射光偏振态模式对发射机受激布里渊散射抑制性能的影响。分析计算显示: 入射光偏振态模式为 TE 模时发射机的受激布里渊散射抑制性能为

最佳。文中还分析计算了入射光偏离 TE 模时系统受激布里渊散射抑制性能的变化, 本文分析表明: 为保证发射机的受激布里渊散射抑制性能, 入射光偏振态偏离 TE 模不能超过 10° 。

参 考 文 献

- [1] Wilson G C, Wood T H, Zyskind J L *et al.*. SBS and MPI suppression in analog systems with integrated electroabsorption modulator/DFB laser diode. *Electron. Lett.*, 1996, **32**(16): 1502~ 1503
- [2] Cotter D. Stimulated Brillouin scattering in monomode optical fiber. *J. Opt. Commun.*, 1983, **4**(1): 10~ 19
- [3] Iwai T, Sato K. Dispersion-induced distortion in AM-SCM transmission systems employing linearized MQW-EA modulator. *Electron. Lett.*, 1995, **31**(15): 1272~ 1273
- [4] 陈福深. 集成电光调制理论与技术. 北京: 国家工业出版社, 1995, 29~ 50
- [5] 范崇澄, 彭吉虎. 导波光学. 北京: 北京理工大学出版社, 1988, 80~ 98
- [6] Willems F W, van der Plaats J C, Muys W. Harmonic distortion caused by stimulated Brillouin scattering suppression in externally modulated lightwave AM-CATV systems. *Electron. Lett.*, 1994, **30**(4): 343~ 344

Influence of Incident Polarization State on Performance for SBS Suppression of the CATV Transmitter

Yang Jianliang^{1), 2)} Tu Tao¹⁾ Zha Kaide¹⁾

[1), Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084
2), Department of Electronic Engineering, Xiangtan University, Xiangtan 411105]

(Received 18 June 1999; revised 23 September 1999)

Abstract: The performance of Stimulated Brillouin Scattering (SBS) suppression is one of the key parameters in optical fiber AM-CATV (amplitude modulated cable television) externally modulated transmitters. The influence of the incident polarization state with TE mode and TM mode on the performance for SBS suppression in optical fiber AM-CATV externally modulated transmitters is analyzed theoretically. The analysis and calculation have shown that the TE mode is the best mode for performance of SBS suppression. The influence of the incident polarization state deviating from TE mode is also analyzed and calculated. And it is shown that the deviation angle from the TE mode should be less than 10 degrees so as to the performance for SBS suppression will not be degraded.

Key words: optical fiber AM-CATV; externally modulated transmitter; stimulated Brillouin scattering; polarization