

弱光反馈对相干光差分相移键控 系统性能的影响

李 林 林

(郑州大学电子系, 郑州 450052)

提 要

本文讨论了弱光反馈对相干光差分相移键控系统误码率的影响。指出:在适当的反馈条件下,弱光反馈可以改善系统的误码率性能。

关键词: 弱光反馈; 光差分相移键控系统; 相位噪声。

一、引 言

作为光发射机与接收机本振的半导体激光器的相位噪声性能严重地影响着相干光通信系统的性能。在1 Gbit/s的传输速率时,为了获得误码率为 10^{-9} ,相干光差分相移键控系统所使用的半导体激光器,其线宽要求为3 MHz^[1]。然而,在长波长波段(1.3 μm 或1.55 μm)使用的半导体激光线宽通常为10 MHz,很难使用于光差分相移键控系统。

弱光反馈可以压缩半导体激光线宽^[2]。然而,在使用该方法时,半导体激光调频噪声谱不再是平谱,也即半导体激光线型不是通常的洛伦茨(Lorentzian)型,且张弛振荡频率产生下降的趋势^[3]。因此,在使用弱光反馈半导体激光器的相干光差分相移键控系统性能估价时,即使半导体激光具有极窄的线宽,也应用调频噪声谱的形式^[4]。

本文分析了弱光反馈对相干光差分相移键控系统误码率性能的影响,为使用弱光反馈半导体激光的相干光差分相移键控系统提供了设计准则。

二、理 论 分 析

描述弱光反馈半导体激光的广义速率方程组为^[3]

$$\left. \begin{aligned} k_c \dot{n} + 2k_s n \dot{\varphi} &= [G_0(N - N_0) - (1/\tau_p) + 2A_0 \cos \Omega\tau]n + R + F_n, \\ -(k_s \dot{n}/2n) + k_c \dot{\varphi} &= (\alpha/2) [G_0(N - N_0) - (1/\tau_p) - A_0 \sin \Omega\tau] + F_\varphi, \\ \dot{N} &= P - (N/\tau_s) - G_0(N - N_0)n + F_N, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中 n 为半导体激光腔中的光子数, N 为半导体激光有源区中的载流子数, φ 为光场的相位, G_0 为微分增益, N_0 为增益取零值时的载流子数, R 为自发辐射到激射模的速率, α 为线型展宽因子(载流子变化引起折射率变化的实、虚部之比), τ_p 为光子寿命, τ_s 为载流子寿命,

P 为泵浦率, A_0 为一与反馈强度有关的参数, Ω 为激射频率, τ 为光在外腔往返一次所需的时间, F_n 等为 Langevin 噪声源,

$$\left. \begin{aligned} k_c &= 1 + A_0\tau \cos \Omega\tau, \\ k_s &= A_0\tau \sin \Omega\tau. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

类似于文献[3]的推导,对(1)式作一阶近似,然后再进行傅里叶变换,即可得到弱光反馈半导体激光的相位噪声谱

$$\left. \begin{aligned} S_\varphi(f) &= \langle |D_s(f)|^2 \rangle / |D(f)|^2, \\ D_s(f) &= \tilde{F}_N \left(i\omega k_c G \frac{\alpha}{2} + \Gamma_N G_0 \frac{\alpha}{2} \right) + \tilde{F}_n \left[i\omega \Gamma_N \frac{k_s}{2n} - \frac{k_s}{2n} \omega^2 - \frac{\alpha}{2} G_0^2 (N - N_0) \right] \\ &\quad + \tilde{F}_\varphi \cdot i\omega [G_0^2 (N - N_0)n + \Gamma_n \Gamma_N + k_c \cdot i\omega \Gamma_N + i\omega k_s \Gamma_N], \\ D(f) &= i\omega [k_s \Gamma_N \Gamma_n + G_0^2 (N - N_0)n (k_c + \alpha k_s) - (k_c^2 + k_s^2) \omega^2 + \Gamma_N i\omega (k_c^2 + k_s^2) + k_c i\omega \Gamma_n], \\ \Gamma_n &= (R/n), \Gamma_N = G_0 n + (1/\tau_s), \omega = 2\pi f, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

式中 \tilde{F}_n 等表示 F_n 等的傅里叶变换, $\langle \rangle$ 表示求集平均。

在外差检测后,中频信号的相位噪声谱为发射机与接收机本振半导体激光器*相位噪声谱之和^[5]

$$S_{\varphi(IF)}(f) = S_{\varphi S}(f) + S_{\varphi L}(f). \quad (4)$$

因此,基带信号的相位噪声谱为^[5]

$$S_{\Delta\varphi}(f) = 4 \sin^2 \pi f T S_{\varphi(IF)}(f), \quad (5)$$

式中 T 为码元间隔。所以,(5)式对系统整个带宽 $0 \sim 2/T$ 求积分,就可以得到相位噪声方差^[5]

$$\sigma_\varphi^2 = \int_0^{2/T} S_{\Delta\varphi}(f) df. \quad (6)$$

三、数值分析

由(3)~(6)式可见,弱光反馈显然影响到了光差分相移键控系统的性能。为了便于分析,下面进行一些数值计算。所需参数如文献[3]所述。令

$$A = A_0\tau, \quad \Phi = \Omega\tau, \quad (7)$$

式中 A 为反馈强度, Φ 为反馈相位^[3]。图1给出了反馈强度对系统相位噪声方差的影响。横坐标为比特率 ($1/T$)。反馈相位 $\Phi = 78^\circ$ 。对光差分相移键控系统,当误码率为 10^{-9} 时,要求相位噪声方差 $\sigma_\varphi^2 \leq 0.04 \text{ rad}^2$ ^[1,5]。普通单腔半导体激光很难满足这个要求(在图1中,由于普通单腔半导体激光相位噪声方差太大而未能画出)。但是,由图1可见,在弱光反馈的情况下很容易满足。例如,当反馈强度 $A = 3, 6, 9$ 时,满足 $\sigma_\varphi^2 = 0.04 \text{ rad}^2$ 的比特

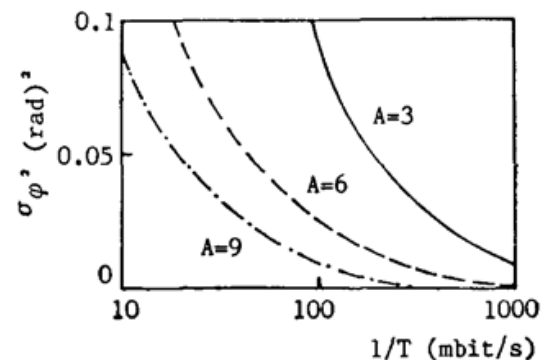


Fig. 1 Effect of feedback intensity on σ_φ^2

* 为便于分析,这里假设发射机与接收机本振使用的半导体激光均为弱光反馈半导体激光。

率分别为 250, 50 和 21.5 Mbit/s。因此, 在满足稳定运转的前提下, 加大反馈强度有利于获得较好的误码率性能。这可通过加大反馈量或延长外腔长度来实现^[3]。

图 2 表示了反馈相位 Φ 对系统相位噪声方差的影响。反馈强度 $A=5$ 。由图 2 可见, 反馈相位对系统相位噪声方差的影响极为明显, 且与反馈强度的影响不同。再者, $\Phi=0^\circ$ 时不能获得较好的误码率特性, 这也说明了折射率变化对半导体激光噪声性能的影响^[3]。因此, 在实际系统的应用中, 应视具体的比特率对反馈相位进行适当的调整, 以获得较好的误码率性能。

图 3 给出了泵浦率(光子数)对系统性能的影响。 $A=5$, $\Phi=78^\circ$ 。泵浦率(相对) $P=1.1, 1.3, 1.5$ 对应于光子数 $n=0.75 \times 10^5, 1.5 \times 10^5, 3 \times 10^5$ 。当光子数分别为上述三个数值时, 满足 $\sigma_\phi^2 < 0.04$ 的最小比特率分别为 147, 79, 46 Mbit/s。因此, 对光差分相移键控系统而言, 为了获得较好的误码率性能, 适当增大偏置是有利的。

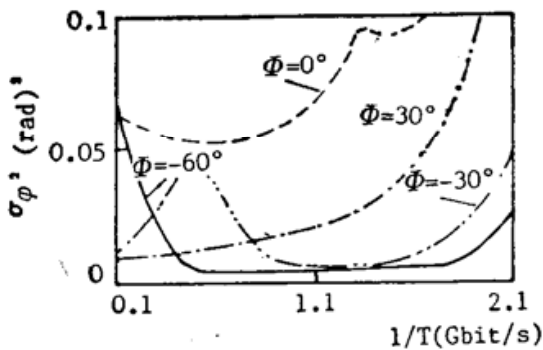


Fig. 2 Effect of feedback phase on σ_ϕ^2

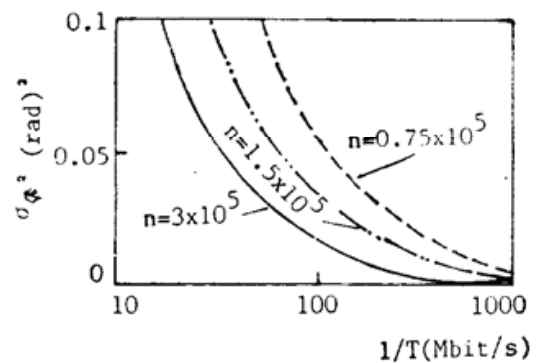


Fig. 3 Effect of pumping rate on σ_ϕ^2

四、结 论

本文研究了使用弱光反馈半导体激光的相干光差分相移键控系统的系统性能, 讨论了反馈强度、反馈相位及泵浦率对误码率的影响。数值计算表明: 增大反馈强度及直流偏置及精细调整反馈相位对于改善系统性能是有利的, 因而, 为该系统的设计提供了理论基础。

作者对河南省基础及应用科学研究所的支持表示感谢。

参 考 文 献

- [1] K. Kikuchi et al.; *J. Lightwave Technol.*, 1984, **LT-2**, No. 6 (Jun), 1024~1033.
- [2] 李林林;《激光技术》, 1989, **13**, No. 2 (Apr), 1~6.
- [3] 李林林;《中国激光》, 1990, **17**, No. 5 (May), 305~308.
- [4] 李林林;《中国激光》, 1990, (待发表)
- [5] K. Kikuchi et al.; *J. Lightwave Technol.*, 1987, **LT-5**, No. 9 (Sep), 1273~1276.

Effects of weak optical feedback on the performances of coherent optical DPSK systems

LI LINLIN

(Department of Electronics, Zhengzhou University, Zhengzhou 450052, China)

(Received 19 September 1990; revised 19 November 1990)

Abstract

The effects of weak optical feedback (WOF) on the bit error rate (BER) of coherent optical differential phase shift key-control (DPSK) systems are presented. The results indicate that the BER properties of the systems can be improved by WOF under suitable feedback conditions.

Key words: weak optical feedback; optical DPSK systems; phase noise.