

强度调制光发射机信噪比的研究*

李林林

(郑州大学, 450052)

A new definition of signal to noise ratio for an optical IM transmitter

Li Linlin

(Zhengzhou University, Zhengzhou)

Abstract: A new definition of signal to noise ratio (SNR) for an optical IM transmitter is presented taking into consideration of both the IM noise and the dynamic frequency shift. The effects of weak optical feedback on SNR are studied.

Key words: signal to noise ratio, laser modulation, optical transmitter

用于光发射机的半导体激光器(LD)的噪声性能直接决定着光通信系统的性能^[1]。许多方法被用来抑制LD的噪声^[2~4]。但在抑制LD噪声的同时,也将改变其调制特性^[2,5]。另外,当对LD直接调制时,其动态频率漂移(DFS)也直接影响到光通信系统的性能^[6]。因此,应综合考虑作为光发射机的噪声及DFS特性,才能完善和正确估价光IM发射机的性能。

本文给出了IM光发射机的一个新的信噪比(SNR)定义:即在同时考虑噪声及DFS情况下的SNR。此外,也研究了弱光反馈对这种SNR的影响。

一、SNR的新定义

描述LD的广义速率方程组为^[2,5,7]

$$\dot{n} = \left(G - \frac{1}{\tau_p} \right) n + R_s + F_n \quad (1)$$

$$\dot{N} = P - \frac{N}{\tau_s} - Gn + F_N \quad (2)$$

$$\dot{\varphi} = \frac{\alpha}{2} \left(G - \frac{1}{\tau_p} \right) + F_\varphi \quad (3)$$

n 为LD腔中的光子数; φ 为光场的相位; N 为有源区载流子数; G 为增益; τ_p 为光子寿命; τ_s 为载流子寿命; R_s 为自发辐射到激射模的速率; $P=I/e$, I 为LD注入电流, e 为电子电荷; α 为线宽展宽因子; F_n 等为Langevin噪声源。

在分析调制特性时,设LD的注入电流为^[7]

* 本文为河南省教委科学基金资助课题。

$$I(t) = I_b + I_m \exp(j\omega_m t) \quad (4)$$

I_b 为偏置; I_m 为调制电流强度; $\omega_m = 2\pi f_m$, f_m 为调制频率。当调制指数 $m = I_m / (I_b - I_{th}) \ll 0.3$ 时, 小信号分析有效^[7], I_{th} 为阈值电流。此时, 光子数 n 等均含有调制分量与噪声分量^[7]:

$$n(t) = n_b + \Delta n(t) \quad (5)$$

$\Delta n(t) = n_m \exp(j\omega_m t) + \delta n(t)$, $\delta n(t)$ 为 Langevin 噪声源引起的光子数漂移。这样, 增益也可写为 $G = G_0 + G_N \Delta N(t) + G_n \Delta n(t)$, $G_N = \partial G / \partial N$, $G_n = \partial G / \partial n$ 表示了烧孔效应。代入到 (1) ~ (3) 式中去, 若不考虑信号与噪声的耦合^[7], 可得

$$IM_0 = |n_m| = |D_1(\omega_m) / D_0(\omega_m)| \quad (6)$$

$$D_1(\omega_m) = G_N n_b I_m / e \quad (7)$$

$$D_0(\omega_m) = \left(j\omega_m + \frac{R_s}{n_b} - n_b G_n \right) \left(j\omega_m + \frac{1}{\tau_R} \right) + G_N n_b (G_0 + G_n n_b) \quad (8)$$

式中利用 $1/\tau_R = 1/\tau_s + G_N n_b$

在 LD 进行 IM 时, 伴随着 DFS^[6]。与 (6) 式的推导相同, 得到^[5, 6]

$$DFS_0 = |j\omega_m \varphi_m / 2\pi| = \frac{1}{2\pi} |D_3(\omega_m) / D_0(\omega_m)| \quad (9)$$

$$D_3(\omega_m) = \frac{\alpha}{2} G_N \left(j\omega_m + \frac{R_s}{n_b} \right) I_m / e \quad (10)$$

同理可得关于噪声的一组方程。解之可得 LD 的 IM 噪声功率谱为^[2~4]

$$S_{I0}(\omega) = \langle |\Delta n_0(\omega)|^2 \rangle = \langle |D_1(\omega) / D_0(\omega)|^2 \rangle \quad (11)$$

$$D_1(\omega) = G_N n_b \Delta F_N(\omega) + \left(j\omega + \frac{1}{\tau_R} \right) \Delta F_n(\omega) \quad (12)$$

式中 $\langle \rangle$ 表示集平均; $\Delta n_0(\omega)$ 为 $\delta n(t)$ 的傅里叶变换; $\Delta F_N(\omega)$ 与 $\Delta F_n(\omega)$ 分别为 $F_N(t)$ 与 $F_n(t)$ 的傅里叶变换。

因此, 强度噪声方差为

$$\sigma_{I0}^2 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\omega_m}^{\omega_m} S_{I0}(\omega) d\omega \quad (13)$$

为方便计, 这里设接收机带宽为 ω_m (rad/s)。

为统一考虑噪声及 DFS 对光 IM 发射机的影响, 定义 SNR 为

$$SNR_0 = \frac{IM_0^2}{\sigma_{I0}^2} \cdot \frac{IM_0}{DFS_0} \quad (14)$$

若令 $IM_0 / DFS_0 = 1$, 则上式即为通常的 SNR 定义。显然, SNR_0 大意味着光 IM 发射机具有较好的性能。

二、弱光反馈对 SNR 的影响

描述弱光反馈 LD 的广义速率方程组为^[2, 5]

$$k_c \dot{n} + 2k_s n \dot{\varphi} = \left[G - \frac{1}{\tau_p} + 2A_0 \cos \Omega T \right] n + R_s + F_n \quad (15)$$

$$\dot{N} = P - \frac{N}{\tau_s} - G n + F_N \quad (16)$$

$$-\frac{k_s}{2n} \dot{n} + k_c \dot{\varphi} = \frac{\alpha}{2} \left[G - \frac{1}{\tau_p} - A_0 \sin \Omega T \right] + F_\varphi \quad (17)$$

Ω 为激射频率; T 为光在外腔往返一次所需时间; A_0 为表示反馈量的一个参数^[5, 2]; $k_c = 1 + A_0 T \cos \Omega T$, $k_s = A_0 T \sin \Omega T$ 。同前节一样, 可得光子数的变化:

$$IM = |D_4(\omega_m)/D(\omega_m)| \quad (18)$$

$$D_4(\omega_m) = G_N n_b (k_c - \alpha k_s) I_m / e \quad (19)$$

$$D(\omega_m) = k_c \left(j\omega_m k_c + \frac{R_s}{n_b} - n_b G_n \right) \left(j\omega_m + \frac{1}{\tau_R} \right) + (G_n n_b + G_0) (G_N n_b k_c - \alpha G_N k_s n_b) + k_s \left(j\omega_m + \frac{1}{\tau_R} \right) (\alpha G_N n_b + k_s j\omega_m) \quad (20)$$

同理, 其 DFS 为

$$DFS = \frac{1}{2\pi} |D_6(\omega_m)/D(\omega_m)| \quad (21)$$

$$D_6(\omega_m) = \frac{G_N}{2} \left[\alpha \left(j\omega_m k_c + \frac{R_s}{n_b} \right) + \frac{G_n}{G_N} k_s j\omega_m \right] I_m / e \quad (22)$$

同样也可得强度噪声功率谱为

$$S_I(\omega) = \langle |\Delta n(\omega)|^2 \rangle = \langle |\Delta(\omega)/D(\omega)|^2 \rangle \quad (23)$$

$$\Delta(\omega) = \Delta F_n(\omega) \cdot k_c \left(j\omega + \frac{1}{\tau_R} \right) + \Delta F_N(\omega) (G_N n_b k_c - \alpha G_N n_b k_s) - \Delta F_\varphi(\omega) \cdot 2k_s n_b \left(j\omega + \frac{1}{\tau_R} \right) \quad (24)$$

从而 IM 噪声方差为

$$\sigma_I^2 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\omega_m}^{\omega_m} S_I(\omega) d\omega \quad (25)$$

因此, 弱光反馈情况下 SNR 的表达式为

$$SNR = \frac{IM^2}{\sigma_I^2} \cdot \frac{IM}{DFS} \quad (26)$$

若无反馈, (26) 式即为 (14) 式, $SNR = SNR_0$ 。

三、讨 论

数值计算所需参数如下: $\tau_p = 2 \times 10^{-12}$ s; $\tau_s = 2 \times 10^{-9}$ s; $\alpha = 6.6$ 等^[2, 5, 7]。为方便计, 设 $A = A_0 T$ 表示反馈强度; $\Phi = \Omega T$ 表示反馈相位; $A = 0$ 为无反馈。

图 1 给出了两种偏置电流(光子数)下的 SNR_0 。由图 1 可见, 当光子数较大时, SNR 特性较好。其原因是: 此时 LD 强度调制特性较好, DFS 较小^[5], IM 噪声较小^[8]。然而这时做为光 IM 发射机的 LD 其消光比较大, 从而增加了光接收机的噪声, 造成接收机 SNR 下降^[2]。因此, 在系统设计中, 应综合考虑它们的影响。

图 2 给出了反馈强度 A 对 SNR 特性的影响。 $\Phi = 0 \text{ rad (mod } 2\pi)$ (微调 T 得到)。由图中可知, A 对 SNR 的影响取决于调制频率。对一给定的反馈相位 Φ , A 越大, 在张弛振荡频率以下, 对 SNR 性能的改善越明显。因此, 在稳定运转的前提下, 应增大反馈强度, 获得较好的 SNR 特性。但应注意到, 对给定的 Φ , 这种改善是以降低张弛振荡(调制截止)频率为代价的。

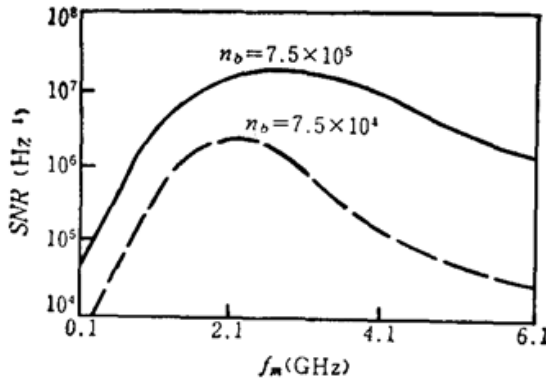


Fig. 1 SNR for a single cavity LD

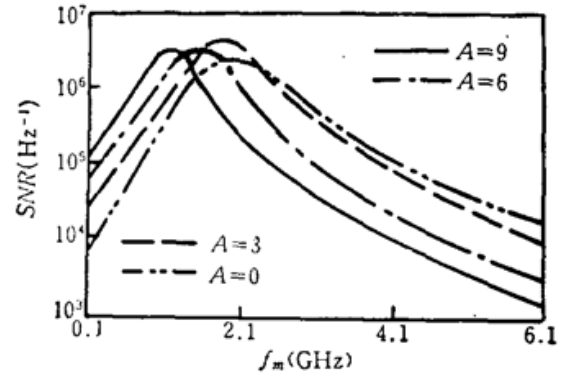


Fig. 2 Effects of feedback-intensity on SNR

与[2]相比还可知, 无论是改善噪声特性还是 SNR 特性, 都须付出张弛振荡频率下降的代价。

图 3 给出了 $n_b = 7.5 \times 10^4$, $A = 5$ 情况下 Φ 对 SNR 性能的影响。对给定的 A , 在张弛振荡频率以下, Φ 从负到零, 对 SNR 性能的改善较为明显。计算还表明: 若 Φ 由零变为正 (mod 2π), 张弛振荡频率会继续降低。因此, 对高速光通信系统而言, 应调整 T 使反馈相位为负。

图 4 给出了计算中出现的一种特殊情况, 即小反馈量 $A = 0.99$ 时, Φ 对 SNR 特性的影响。其它条件同前图。 Φ 朝正向变化, 张弛振荡频率变低, SNR 特性改善较大。然而, 当 Φ 从零到负时, 张弛振荡频率高于无反馈时的 (参见图 1)。例如, 当 $\Phi = -\pi/6$ rad 时, 张弛振荡频率为 2.5GHz, 明显高于无反馈时的 2.0GHz。这对高速光通信系统极为有利, 因为不必靠增大偏置来提高 SNR 及调制截止频率了。因此, 这种办法非常可取。

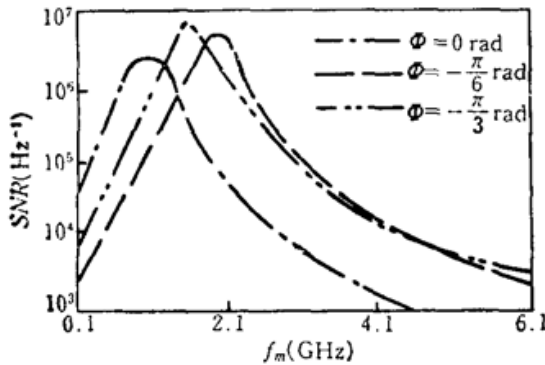


Fig. 3 Effects of feedback-phase on SNR for large amount of feedback-intensity

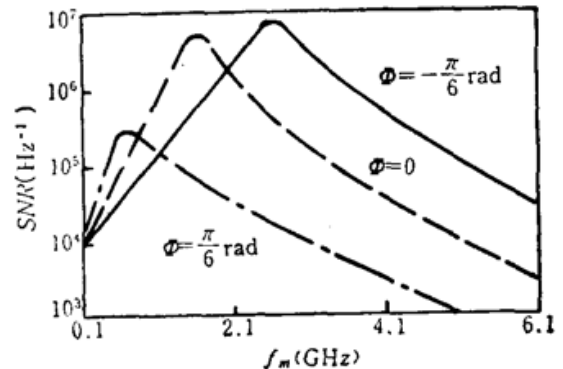


Fig. 4 Effects of feedback-phase on SNR for small amount of feedback-intensity

在实际系统中, 采用的是大信号调制, 信号与噪声将会相互耦合。然而, 这里的定义与结论对实际系统的分析与设计有指导意义^[9], 特别是这里给出了一个信噪比的新定义以及可以在何种反馈条件下能够获得较佳的 IM 光发射机性能。

参 考 文 献

- 1 杨恩泽 *et al.*, 光纤数字通信接收机, (北京, 人民邮电出版社 1984,) 164, 61
- 2 李林林, 中国激光, 待发表
- 3 李林林, 中国激光, 15 (2), 117 (1988)
- 4 李林林, 中国激光, 15 (10), 631 (1988)

- 5 李林林, 中国激光, **16** (3) 182 (1989)
 6 D. Welford, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-21** (11), 1749 (1985)
 7 G. P. Agrawal, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-21** (6), 680 (1985)
 8 李林林, 中国激光, **14** (9), 529 (1987)
 9 S. Piazzolla *et al.*, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-22** (12), 2219 (1986)

(收稿日期: 1989年1月30日)

紫外激光冷却镁原子

王玉芝*

(中国科学院上海光机所, 201800)

N. Beverinni, F. Strumia

(意大利比萨大学物理系)

UV laser cooling of magnesium atomic beam

Wang Yuzhi

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai)

N. Beverini, F. Strumia

(Department of Physics, University of Pisa, Italy)

Abstract: We reported an experiment of cooling Mg atomic beam by a UV laser and experimental results are given.

Key words Mg atom, laser, cooling

利用反向激光与原子跃迁产生共振, 可使 Na 和 Cs 原子减速^[1,2]。与 Na 和 Cs 原子相比, Mg 原子结构对于冷却更为方便。Mg 原子的部分能级示于图 1。从图中可以看出, 区别于 Na 或 Cs 原子的是 Mg 原子的基态没有精细结构, 因此也就避免了光泵效应。当然有一定输出功率的与 Mg 原子的 $^1S_0-^1P_1$ 产生共振跃迁的 285.2 nm 的激光是必要的。

一、实验装置

图 2 是实验装置方框图。从原子束炉(11)喷射出来的热原子束被准直, 使输出波长为 285.2 nm 的反向激光束作用于原子束, 与其 $^1S_0-^1P_1$ 能级产生共振跃迁。699/21 型环形染料激光经 KDP 倍频(4)后产生 285.2 nm 波长的连续紫外激光束, 可获得 4 mW 的单模最大输出, 线宽为 2 MHz。但在我们的实验中, 由于采用了塞曼冷却, 因此仅用 1~2 mW 的输出就获得了冷却结果。

分析光束是由另一台 699/21 环形染料激光器(2)经 KDP(3)倍频后而得到的, 其波长仍为 285.2 nm, 其输出功率比冷却光束约低三个量级。为了得到足够大的分析信号和高的速度

* ICTP Fellow in Trieste of Italy.