

# 偏置信号调制下噪声关联的周期调制 对单模激光随机共振的影响

陈德彝<sup>†</sup> 王忠龙

(三峡大学理学院物理系, 宜昌 443002)

(2008 年 12 月 5 日收到, 2009 年 2 月 3 日收到修改稿)

在噪声受偏置信号调制的情况下, 讨论色噪声之间的关联受时间周期调制所驱动的单模激光系统中的随机共振, 用线性化近似的方法计算了输出信噪比. 具体讨论输出信噪比随噪声自关联时间、噪声强度和偏置信号的变化关系. 发现输出信噪比随抽运噪声强度和自关联时间的变化出现随机共振, 而偏置信号会降低随机共振的峰值. 实际应用中应控制优选偏置信号强度.

关键词: 偏置信号, 色噪声, 时间周期调制, 噪声间关联程度

PACC: 0540, 4260K

## 1. 引 言

对随机共振现象的研究已成为人们越来越关注的重要研究课题, 有大量的理论和实验研究报告<sup>[1-5]</sup>. 现代通讯广泛采用激光通讯, 在激光通讯中必须对激光进行调制, 这种调制会受噪声影响形成调制噪声, 激光放大器的工作过程也存在类似过程<sup>[6]</sup>. 研究表明<sup>[7]</sup>调制噪声比非调制噪声能更好地对系统进行描述, 能更好地与实验结果相符. 曹力等研究了信号对噪声调制情况下的激光系统的随机共振<sup>[8-11]</sup>. 张良英等进一步研究了输入振幅调制信号和频率调制信号的情况下, 对激光系统随机共振的影响<sup>[12, 13]</sup>.

近年来, 我们在对单模激光增益系统随机共振的研究中引入了对噪声间关联程度  $\lambda$  的时间周期调制<sup>[14]</sup>, 进行了系列讨论. 先后讨论了白噪声驱动的单模激光增益系统<sup>[15]</sup>和色噪声驱动的单模激光增益系统<sup>[16]</sup>, 然后又讨论了在噪声间关联程度受时间周期调制的同时, 直接信号调制噪声驱动的单模激光系统<sup>[17]</sup>.

在实际工程中, 调制分为直接信号调制和偏置信号调制, 理论和实践表明偏置信号调制优于直接信号调制, 因此进一步讨论偏置信号调制噪声对单模激光系统随机共振的影响是很有必要的.

本文讨论在偏置信号调制噪声的情况下, 色噪声间关联受时间周期调制的单模激光增益系统的随机共振. 首先推导出色噪声驱动的具有噪声间关联程度时间周期调制的单模激光增益模型在偏置信号调制噪声情况下的信噪比, 然后讨论当  $\Omega_\lambda \neq n\Omega$  ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ) 时, 偏置信号  $i_0$ , 噪声自关联时间  $\tau_1, \tau_2$ , 抽运噪声强度  $Q$  以及量子噪声强度  $D$  对信噪比的影响.

## 2. 输出信噪比

抽运噪声受偏置信号调制情况下, 单模激光增益模型的光强朗之万方程可写为

$$\frac{dI}{dt} = -2KI + \frac{2\Gamma I}{1 + \beta I} + D + \frac{2I}{1 + \beta I} \times [i_0 + A \cos(\Omega t)] \xi(t) + 2\sqrt{I} \gamma(t), \quad (1)$$

式中,  $I$  表示光强,  $K$  为损失系数,  $\Gamma$  是增益系数,  $\beta = \bar{A}/\Gamma$ , 其中  $\bar{A}$  为自饱和系数,  $D$  是量子噪声强度,  $i_0$  是外加偏置信号强度,  $A \cos(\Omega t)$  是外加周期调制信号, 其中  $A$  是外加周期调制信号的强度,  $\Omega$  为外加周期调制信号的频率. 引进噪声间关联程度受时间周期调制后方程(1)中噪声  $\xi(t)$  和  $\gamma(t)$  的统计性质为

$$\langle \xi(t) \rangle = \langle \gamma(t) \rangle = 0,$$

<sup>†</sup> E-mail: chendeyi@ctgu.edu.cn

$$\begin{aligned} \xi(t)\xi(t') &= \frac{Q}{2\tau_1} \exp\left[-\frac{|t-t'|}{\tau_1}\right], & + 2\sqrt{I_0}\eta(t), & \quad (3) \\ \eta(t)\eta(t') &= \frac{D}{2\tau_2} \exp\left[-\frac{|t-t'|}{\tau_2}\right], & & \\ \xi(t)\eta(t') &= \eta(t)\xi(t') & & \\ &= 2\lambda\sqrt{QD}\cos(\Omega_\lambda t)\delta(t-t'), & & \\ & -1 \leq \lambda \leq 1, & (2) & \end{aligned}$$

式中  $Q$  是抽运噪声强度,  $\tau_1$  是抽运噪声自关联时间,  $\tau_2$  是量子噪声自关联时间,  $\lambda$  为噪声间关联程度,  $\Omega_\lambda$  是对  $\lambda$  的时间周期调制频率.

可计算出稳态光强为  $I_0 = (\Gamma - K)/\beta K$ , 在稳态光强  $I_0$  附近把方程(1)线性化, 令  $I = I_0 + \epsilon(t)$ , 其中  $\epsilon(t)$  为微扰项, 代入方程(1)可得线性化方程

$$\begin{aligned} \frac{d\epsilon(t)}{dt} &= -\gamma\epsilon(t) + D + \frac{2I_0}{1 + \beta I_0} \\ &\times [i_0 + A\cos(\Omega t)]\xi(t) \end{aligned}$$

式中  $\gamma = 2K(\Gamma - K)/\Gamma$ . 对(3)式直接积分可得  $\epsilon(t')$ , 进而可求出

$$\epsilon(t') = \frac{D}{\gamma}(1 - e^{-\gamma t'}). \quad (4)$$

平均光强关联函数为

$$\begin{aligned} c(t) &= \lim_{t' \rightarrow \infty} \overline{\mathcal{K}(t')\mathcal{K}(t+t')} \\ &= \lim_{t' \rightarrow \infty} \frac{\Omega}{2\pi} \int_0^{2\pi/\Omega} \mathcal{K}(t')\mathcal{K}(t+t') dt'. \quad (5) \end{aligned}$$

利用(4)式可计算出平均光强关联函数  $c(t)$ , 进而计算输出功率谱

$$\begin{aligned} S(\omega) &= \int_{-\infty}^{\infty} \lim_{t' \rightarrow \infty} c(t) e^{-i\omega t} dt \\ &= S_1(\omega) + S_2(\omega), \quad (6) \end{aligned}$$

式中  $S_1(\omega)$  为输出信号功率谱,  $S_2(\omega)$  为输出噪声功率谱, 计算得出

$$\begin{aligned} S_1(\omega) &= \frac{QA I_0^2}{\pi\tau_1(1 + \beta I_0) \left[ (\gamma + \tau_1^{-1}) \mathfrak{I}(\gamma + \tau_1^{-1}) + \Omega^2 \mathfrak{I}(\gamma - \tau_1^{-1}) + \Omega^2 \right]} \\ &\times \left\{ \Omega \left[ \exp\left(-(\gamma + \tau_1^{-1})\frac{2\pi}{\Omega}\right) - 1 \right] \left[ i_0 + \frac{A(\gamma + \tau_1^{-1})}{(\gamma + \tau_1^{-1}) + \Omega^2} \right] + A\pi(\gamma + \tau_1^{-1}) \right\} \\ &\times \left\{ 2\tau_1^{-1}\Omega \left[ \frac{\omega + \Omega}{\tau_1^{-2} + (\omega + \Omega)^2} - \frac{\omega - \Omega}{\tau_1^{-2} + (\omega - \Omega)^2} \right] \right. \\ &\left. + (\gamma^2 - \tau_1^{-2} + \Omega^2) \left[ \frac{\tau_1^{-1}}{\tau_1^{-2} + (\omega - \Omega)^2} - \frac{\tau_1^{-1}}{\tau_1^{-2} + (\omega + \Omega)^2} \right] \right\}, \quad (7) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_2(\omega) &= 2\pi \left( I_0 + \frac{D}{\gamma} \right)^2 S(\omega) + \frac{4\tau_1^{-2} Q I_0^2 i_0^2}{(1 + \beta I_0) \left[ (\tau_1^{-2} + \omega^2) \mathfrak{I}(\gamma^2 + \omega^2) \right]} \\ &+ \frac{16\gamma\lambda\Omega i_0 \sqrt{QDI_0^3}}{\pi(1 + \beta I_0) \mathfrak{I}(4\gamma^2 + \Omega_\lambda^2) \mathfrak{I}(\gamma^2 + \omega^2)} \left[ 1 - \cos\left(\frac{\Omega_\lambda}{\Omega} 2\pi\right) - \frac{2\gamma}{\Omega_\lambda} \sin\left(\frac{\Omega_\lambda}{\Omega} 2\pi\right) \right] \\ &+ \frac{2\tau_1^{-1} Q\Omega A i_0 \gamma I_0^2 \left[ (\gamma^2 - \tau_1^{-2} + \Omega^2) \mathfrak{I} \exp\left(-(\gamma + \tau_1^{-1}) 2\pi/\Omega\right) - 1 \right]}{\pi(1 + \beta I_0) \mathfrak{I}(\gamma + \tau_1^{-1}) \mathfrak{I}(\gamma^2 + \tau_1^{-2} + \Omega^2) - 4\gamma^2 \tau_1^{-2} \mathfrak{I}(\gamma^2 + \omega^2)} \\ &+ \frac{16\gamma\tau_1^{-1}\lambda\Omega \sqrt{Q^3 DI_0^7}}{\pi(1 + \beta I_0) \mathfrak{I}(\gamma^2 + \omega^2) \mathfrak{I}(4\gamma^2 + (\Omega + \Omega_\lambda)^2)} \left\{ \frac{1}{4\gamma^2 + (\Omega + \Omega_\lambda)^2} \left[ 1 - \cos\left(\frac{\Omega_\lambda}{\Omega} 2\pi\right) - \frac{2\gamma}{\Omega + \Omega_\lambda} \sin\left(\frac{\Omega_\lambda}{\Omega} 2\pi\right) \right] \right. \\ &\left. + \frac{1}{4\gamma^2 + (\Omega - \Omega_\lambda)^2} \left[ 1 - \cos\left(\frac{\Omega_\lambda}{\Omega} 2\pi\right) - \frac{2\gamma}{\Omega - \Omega_\lambda} \sin\left(\frac{\Omega_\lambda}{\Omega} 2\pi\right) \right] \right\} \\ &+ \frac{2Q\tau_1^{-1}\gamma A^2 I_0^2}{(1 + \beta I_0) \mathfrak{I}(\gamma^2 + \tau_1^{-2} + \Omega^2) - 4\gamma^2 \tau_1^{-2} \mathfrak{I}(\gamma^2 + \omega^2)} \left\{ \frac{\tau_1^{-1}}{\gamma} (\tau_1^{-2} - \gamma^2 + \Omega^2) \right. \\ &\left. + \frac{\Omega(\gamma + \tau_1^{-1}) \mathfrak{I}(\gamma^2 - \tau_1^{-2} + \Omega^2) \mathfrak{I} \exp\left(-(\gamma + \tau_1^{-1}) 2\pi/\Omega\right) - 1 \right\} \\ &+ \frac{4I_0 D \tau_2^{-2}}{(\tau_2^{-2} + \omega^2) \mathfrak{I}(\gamma^2 + \omega^2)}. \quad (8) \end{aligned}$$

输出信号总功率为

$$\begin{aligned}
 P_s &= \int_0^\infty S_1(\omega) \lambda d\omega \\
 &= \frac{I_0^2}{(1 + \beta I_0)^2} \frac{QA^2 \tau_1^{-1} \pi (\gamma^2 - \tau_1^{-2} + \Omega^2)}{(\gamma^2 + \tau_1^{-2} + \Omega^2)^2 - 4\gamma^2 \tau_1^{-2}} \\
 &\quad \times \left\{ 1 + \frac{\Omega \left( \exp\left[-(\gamma + \tau_1^{-1}) \frac{2\pi}{\Omega}\right] - 1 \right) [A(\gamma + \tau_1^{-1})^2 + i_0((\gamma^2 + \tau_1^{-1})^2 + \Omega^2)]}{\pi A(\gamma + \tau_1^{-1}) [(\gamma + \tau_1^{-1})^2 + \Omega^2]} \right\}. \quad (9)
 \end{aligned}$$

$\omega = \Omega$  处单位噪声谱的平均功率为

$$\begin{aligned}
 S_2(\omega = \Omega) &= \frac{4\tau_1^{-2} Q I_0^2 i_0^2}{(1 + \beta I_0)(\tau_1^{-2} + \Omega^2)(\gamma^2 + \Omega^2)} \\
 &\quad + \frac{16\gamma\lambda\Omega i_0 \sqrt{QDI_0^3}}{\pi(1 + \beta I_0)(4\gamma^2 + \Omega_\lambda^2)(\gamma^2 + \Omega^2)} \left[ 1 - \cos\left(\frac{\Omega_\lambda}{\Omega} 2\pi\right) - \frac{2\gamma}{\Omega_\lambda} \sin\left(\frac{\Omega_\lambda}{\Omega} 2\pi\right) \right] \\
 &\quad + \frac{2\tau_1^{-1} Q\Omega A i_0 \gamma I_0^2 (\gamma^2 - \tau_1^{-2} + \Omega^2) \left[ \exp\left[-(\gamma + \tau_1^{-1}) \frac{2\pi}{\Omega}\right] - 1 \right]}{\pi(1 + \beta I_0)(\gamma + \tau_1^{-1}) [(\gamma^2 + \tau_1^{-2} + \Omega^2)^2 - 4\gamma^2 \tau_1^{-2} (\gamma^2 + \Omega^2)]} \\
 &\quad + \frac{16\gamma\tau_1^{-1} \lambda \Omega \sqrt{Q^3 DI_0^7}}{\pi(1 + \beta I_0)(\gamma^2 + \Omega^2)} \left\{ \frac{1}{4\gamma^2 + (\Omega + \Omega_\lambda)^2} \left[ 1 - \cos\left(\frac{\Omega_\lambda}{\Omega} 2\pi\right) - \frac{2\gamma}{\Omega + \Omega_\lambda} \sin\left(\frac{\Omega_\lambda}{\Omega} 2\pi\right) \right] \right. \\
 &\quad \left. + \frac{1}{4\gamma^2 + (\Omega - \Omega_\lambda)^2} \left[ 1 - \cos\left(\frac{\Omega_\lambda}{\Omega} 2\pi\right) - \frac{2\gamma}{\Omega - \Omega_\lambda} \sin\left(\frac{\Omega_\lambda}{\Omega} 2\pi\right) \right] \right\} \\
 &\quad + \frac{2Q\tau_1^{-1} \gamma A^2 I_0^2}{(1 + \beta I_0) [(\gamma^2 + \tau_1^{-2} + \Omega^2)^2 - 4\gamma^2 \tau_1^{-2} (\gamma^2 + \Omega^2)]} \left\{ \frac{\tau_1^{-1} (\tau_1^{-2} - \gamma^2 + \Omega^2)}{\gamma} \right. \\
 &\quad \left. + \frac{\Omega(\gamma + \tau_1^{-1})(\gamma^2 - \tau_1^{-2} + \Omega^2) \left[ \exp\left[-(\gamma + \tau_1^{-1}) \frac{2\pi}{\Omega}\right] - 1 \right]}{\pi [(\gamma + \tau_1^{-1})^2 + \Omega^2]} \right\} \\
 &\quad + \frac{4I_0 D \tau_2^{-2}}{(\tau_2^{-2} + \omega^2)(\gamma^2 + \omega^2)}. \quad (10)
 \end{aligned}$$

最终可得输出信噪比为

$$\begin{aligned}
 R &= \frac{P_s}{S_2(\omega = \Omega)} \\
 &= \frac{I_0^2}{(1 + \beta I_0)^2} \frac{QA^2 \tau_1^{-1} \pi (\gamma^2 - \tau_1^{-2} + \Omega^2)}{(\gamma^2 + \tau_1^{-2} + \Omega^2)^2 - 4\gamma^2 \tau_1^{-2}} \\
 &\quad \times \left\{ 1 + \frac{\Omega \left( \exp\left[-(\gamma + \tau_1^{-1}) \frac{2\pi}{\Omega}\right] - 1 \right) [A(\gamma + \tau_1^{-1})^2 + i_0((\gamma^2 + \tau_1^{-1})^2 + \Omega^2)]}{\pi A(\gamma + \tau_1^{-1}) [(\gamma + \tau_1^{-1})^2 + \Omega^2]} \right\} \\
 &\quad \times \left\{ \frac{4\tau_1^{-2} Q I_0^2 i_0^2}{(1 + \beta I_0)(\tau_1^{-2} + \Omega^2)(\gamma^2 + \Omega^2)} \right. \\
 &\quad + \frac{16\gamma\lambda\Omega i_0 \sqrt{QDI_0^3}}{\pi(1 + \beta I_0)(4\gamma^2 + \Omega_\lambda^2)(\gamma^2 + \Omega^2)} \left[ 1 - \cos\left(\frac{\Omega_\lambda}{\Omega} 2\pi\right) - \frac{2\gamma}{\Omega_\lambda} \sin\left(\frac{\Omega_\lambda}{\Omega} 2\pi\right) \right] \\
 &\quad + \frac{2\tau_1^{-1} Q\Omega A i_0 \gamma I_0^2 (\gamma^2 - \tau_1^{-2} + \Omega^2) \left[ \exp\left[-(\gamma + \tau_1^{-1}) \frac{2\pi}{\Omega}\right] - 1 \right]}{\pi(1 + \beta I_0)(\gamma + \tau_1^{-1}) [(\gamma^2 + \tau_1^{-2} + \Omega^2)^2 - 4\gamma^2 \tau_1^{-2} (\gamma^2 + \Omega^2)]} \\
 &\quad + \frac{16\gamma\tau_1^{-1} \lambda \Omega \sqrt{Q^3 DI_0^7}}{\pi(1 + \beta I_0)(\gamma^2 + \Omega^2)} \left( \frac{1}{4\gamma^2 + (\Omega + \Omega_\lambda)^2} \left[ 1 - \cos\left(\frac{\Omega_\lambda}{\Omega} 2\pi\right) - \frac{2\gamma}{\Omega + \Omega_\lambda} \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. \times \sin\left(\frac{\Omega_\lambda}{\Omega} 2\pi\right) \right] + \frac{1}{4\gamma^2 + (\Omega - \Omega_\lambda)^2} \left[ 1 - \cos\left(\frac{\Omega_\lambda}{\Omega} 2\pi\right) - \frac{2\gamma}{\Omega - \Omega_\lambda} \sin\left(\frac{\Omega_\lambda}{\Omega} 2\pi\right) \right] \right) \left. \right\}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + \frac{2Q\tau_1^{-1}\gamma A^2 I_0^2}{(1 + \beta I_0)[(\gamma^2 + \tau_1^{-2} + \Omega^2)^2 - 4\gamma^2\tau_1^{-2}(\gamma^2 + \Omega^2)]} \left( \frac{\tau_1^{-1}}{\gamma}(\tau_1^{-2} - \gamma^2 + \Omega^2) \right. \\
 & + \left. \frac{\Omega(\gamma + \tau_1^{-1})(\gamma^2 - \tau_1^{-2} + \Omega^2)[\exp(-(\gamma + \tau_1^{-1})2\pi/\Omega) - 1]}{\pi(\gamma + \tau_1^{-1})^2 + \Omega^2} \right) \\
 & \left. + \frac{4I_0 D\tau_2^{-2}}{(\tau_2^{-2} + \Omega^2)(\gamma^2 + \Omega^2)} \right\}^{-1}. \tag{11}
 \end{aligned}$$

### 3. 讨 论

由(11)式可看出,当 $\Omega_\lambda = n\Omega$ ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ),即噪声间关联程度 $\lambda$ 的时间周期调制频率 $\Omega_\lambda$ 为信号调制频率 $\Omega$ 的整数倍时,输出信噪比 $R$ 与噪声间关联程度 $\lambda$ 无关.

本文以下仅讨论 $\Omega_\lambda \neq n\Omega$ ( $n = 1, 2, 3, \dots$ )时的情况.重点讨论偏置信号对随机共振的影响,以及噪声颜色对随机共振的影响.

#### 3.1. 信噪比随抽运噪声自关联时间 $\tau_1$ 的变化曲线分析

信噪比 $R$ 随抽运噪声自关联时间 $\tau_1$ 的变化曲线存在极大值,显示有随机共振现象.图1是以偏置信号 $i_0$ 为参数的 $R-\tau_1$ 曲线,随着偏置信号的加强,共振峰峰值下降,峰值的位置向自关联时间减小的方向移动.以噪声间关联程度系数 $\lambda$ 和量子噪声强度 $D$ 为参数的 $R-\tau_1$ 曲线表现出相同的特性,即随着参数的增加,共振峰峰值下降,峰值位置向左移动(图形略).

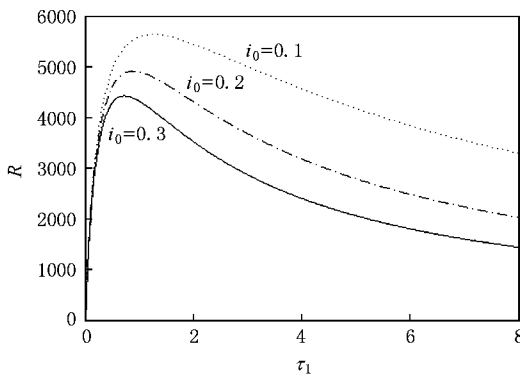


图1 以 $i_0$ 为参数的 $R-\tau_1$ 曲线( $A = 6, K = 2, G = 8, \Omega = 137, \Omega_\lambda = 337, Q = 0.3, D = 0.1, \tau_2 = 8, \lambda = 0.5, \bar{A} = 8$ )

曲线如图2所示.随着量子噪声自关联时间 $\tau_2$ 增加,共振峰值加大,峰值的位置向抽运噪声自关联时间 $\tau_1$ 增大的方向移动.以抽运噪声强度 $Q$ 为参数的 $R-\tau_1$ 曲线表现出相同的特性,即随着抽运噪声强度的增加,共振峰峰值加大,峰值位置右移(图形略).

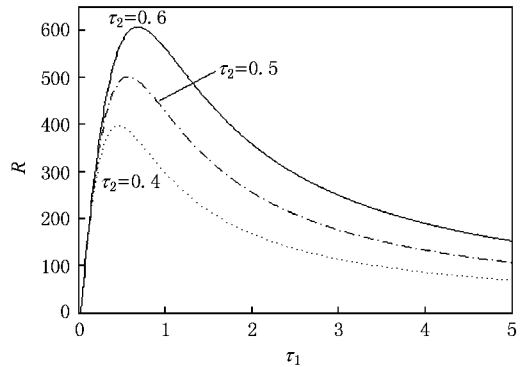


图2 以 $\tau_2$ 为参数的 $R-\tau_1$ 曲线( $A = 5, K = 2, G = 12, \Omega = 137, \Omega_\lambda = 337, Q = 0.1, D = 0.8, \lambda = 0.9, i_0 = 0.7, \bar{A} = 2$ )

#### 3.2. 信噪比随量子噪声自关联时间 $\tau_2$ 的变化曲线分析

信噪比随量子噪声自关联时间 $\tau_2$ 的变化曲线呈单调增长,最终趋于一个饱和值.图3是以偏置信号为参数的 $R-\tau_2$ 曲线,可以看出,随着偏置信号的加强,信噪比的饱和值数值下降.不同参数的 $R-\tau_2$ 曲线特性基本相同,不再讨论.

#### 3.3. 信噪比随抽运噪声 $Q$ 的变化曲线分析

信噪比 $R$ 随抽运噪声强度 $Q$ 的变化曲线显示存在随机共振,即曲线有极大值.图4是以偏置信号为参数的 $R-Q$ 曲线,当偏置信号加强时,共振峰峰值降低,峰值位置不变.当以抽运噪声自关联时间 $\tau_1$ 为参数时,随着 $\tau_1$ 的增大,在共振峰峰值下降的同时,峰值的位置向抽运噪声增大的方向移动(图5).与此不同的是,当量子噪声强度参数增大时,共

以量子噪声强度自关联时间 $\tau_2$ 为参数的 $R-\tau_1$

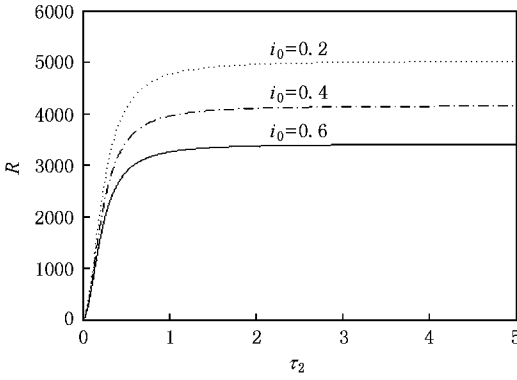


图 3 以  $i_0$  为参数的  $R-\tau_2$  曲线 ( $A=4, K=2, G=8, \Omega=137, \Omega_\lambda=337, \tau_1=1.2, Q=0.1, \lambda=0.1, D=0.1, \bar{A}=3$ )

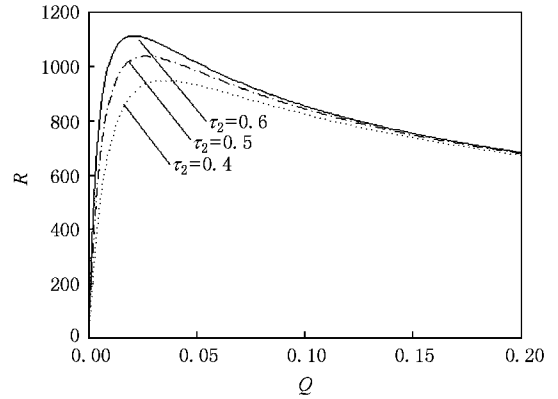


图 6 以  $\tau_2$  为参数的  $R-Q$  曲线 ( $A=2, K=1, G=10, \Omega=137, \Omega_\lambda=237, i_0=0.1, D=0.1, \tau_1=0.1, \lambda=0.1, \bar{A}=6$ )

振峰峰值增大, 峰值位置向抽运噪声减小的方向移动(图 6)。

### 3.4. 信噪比随量子噪声 $D$ 的变化曲线分析

信噪比随量子噪声的变化曲线是单调衰减的, 如图 7 所示。

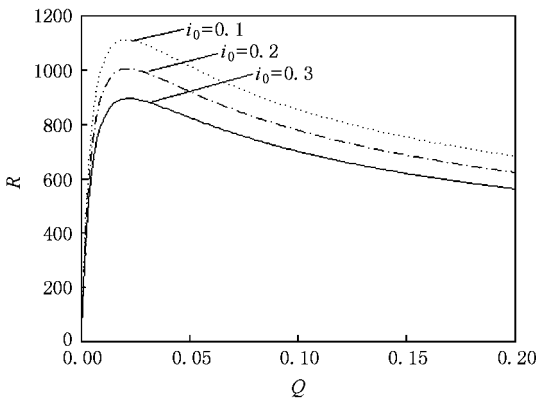


图 4 以  $i_0$  为参数的  $R-Q$  曲线 ( $A=2, K=1, G=10, \Omega=137, \Omega_\lambda=237, \tau_1=0.1, D=0.1, \tau_2=0.6, \lambda=0.1, \bar{A}=6$ )

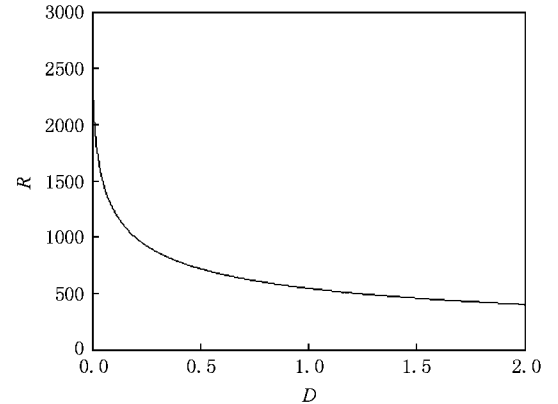


图 7  $R-D$  曲线 ( $A=3, K=5, G=10, \Omega=137, \Omega_\lambda=237, i_0=0.1, \lambda=0.1, \tau_1=0.1, \tau_2=0.2, \bar{A}=6, Q=0.8$ )

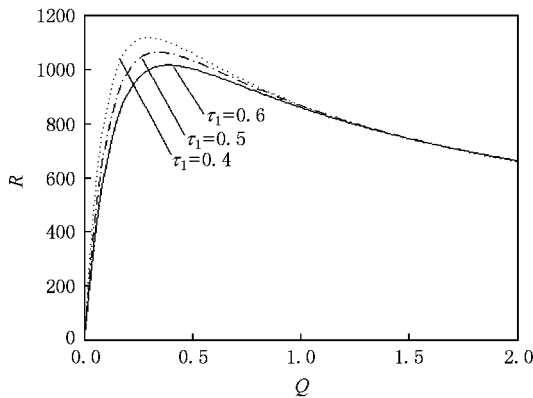


图 5 以  $\tau_1$  为参数的  $R-Q$  曲线 ( $A=3, K=5, G=10, \Omega=137, \Omega_\lambda=237, i_0=0.1, D=0.4, \tau_2=0.2, \lambda=0.1, \bar{A}=6$ )

## 4. 结 论

综合以上分析, 可以得出:

1. 乘性噪声会使激光系统产生随机共振, 而加性噪声不会引起随机共振, 即不论  $R-\tau_2$  曲线还是  $R-D$  曲线均单调变化.  $R-\tau_2$  曲线单调上升达到饱和值,  $R-D$  曲线则单调衰减至一稳定值。
2. 乘性噪声强度  $Q$  及相应自关联时间  $\tau_1$  的变化会引起系统随机共振, 即  $R-Q, R-\tau_1$  曲线出现极大值. 改变噪声参数, 例如改变噪声间关联程度  $\lambda$  及加性噪声强度  $D$  等, 会使极值的峰值和极值位置

改变.

### 3. 偏置信号影响随机共振的峰值. 偏置信号越

强,共振峰峰值越低. 实际应用中应优选偏置信号的强度.

- 
- [ 1 ] Gammaltoni L, Haggi P, Jung P, Marchesoni F 1998 *Rev. Mod. Phys.* **70** 223
- [ 2 ] McNamara B, Wiesenfeld K 1989 *Phys. Rev. A* **39** 4854
- [ 3 ] Hu G, Nicolis C 1990 *Phys. Rev. A* **42** 2030
- [ 4 ] Hu G, Haken H, Ning C Z 1992 *Phys. Lett. A* **172** 21
- [ 5 ] Zhang L Y, Cao L, Wu D J 2003 *Acta Phys. Sin.* **52** 1174 ( in Chinese ) [ 张良英、曹 力、吴大进 2003 物理学报 **52** 1174 ]
- [ 6 ] Huang D X 1994 *Semiconductor Optoelectronics* ( Chengdu : Press of University of Electric Science and Technology of China ) ( in Chinese ) [ 黄德修 1994 半导体光电子学( 成都 : 电子科技大学出版社 ) ]
- [ 7 ] Dykman M I, Luchinsky D G, McClintock P V, Stein N D 1992 *Phys. Rev. E* **46** 1713
- [ 8 ] Cao L, Wu D J 2003 *Europhys. Lett.* **61** 593
- [ 9 ] Han L B, Cao L, Wu D J, Wang J 2004 *Acta Phys. Sin.* **53** 2127 ( in Chinese ) [ 韩立波、曹 力、吴大进、王 俊 2004 物理学报 **53** 2127 ]
- [ 10 ] Han L B, Cao L, Wu D J, Wang J 2004 *Acta Phys. Sin.* **53** 3363 ( in Chinese ) [ 韩立波、曹 力、吴大进、王 俊 2004 物理学报 **53** 3363 ]
- [ 11 ] Cheng Q H, Cao L, Wu D J 2004 *Acta Phys. Sin.* **53** 2556 ( in Chinese ) [ 程庆华、曹 力、吴大进 2004 物理学报 **53** 2556 ]
- [ 12 ] Zhang L Y, Cao L, Jin G X 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 6238 ( in Chinese ) [ 张良英、曹 力、金国祥 2006 物理学报 **55** 6238 ]
- [ 13 ] Zhang L Y, Cao L, Jin G X 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 5093 ( in Chinese ) [ 张良英、曹 力、金国祥 2007 物理学报 **56** 5093 ]
- [ 14 ] Tessone C J, Wio H S, Hanggi P 2000 *Phys. Rev. E* **62** 4623
- [ 15 ] Chen D Y, Wang Z L 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 3333 ( in Chinese ) [ 陈德彝、王忠龙 2008 物理学报 **57** 3333 ]
- [ 16 ] Chen D Y, Wang Z L 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 102 ( in Chinese ) [ 陈德彝、王忠龙 2009 物理学报 **58** 102 ]
- [ 17 ] Chen D Y, Wang Z L 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 1403 ( in Chinese ) [ 陈德彝、王忠龙 2009 物理学报 **58** 1403 ]

# Effects of time period modulation of the noise correlation intensity and bias signal modulation of the noise on stochastic resonance of a single-mode laser

Chen De-Yi<sup>†</sup> Wang Zhong-Long

( *Science College , China Three Gorges University , Yichang 443002 ,China* )

( Received 5 December 2008 ; revised manuscript received 3 February 2009 )

## Abstract

In the case of the noises modulated by the bias signal , the stochastic resonance of a single-mode laser driven by two colored noises with time period modulation correlation intensity is investigated. By means of the linear approximation method , we calculate the output signal to-noise ratio. The evolution of the output signal to-noise ratio with the self-correlation time of the noises and noise intensity and bias signal is discussed. It is found that the evolution of the output signal to-noise ratio with the pump noise intensity and self-correlation time presents the stochastic resonance. The peak of the stochastic resonance is decreased by the bias signal. Thus we should control the intensity of the bias signal in practice.

**Keywords** : bias signal , colored noise , time period modulation , noise correlation intensity

**PACC** : 0540 , 4260K

---

<sup>†</sup> E-mail : chendeyi@ctgu.edu.cn