

# 信号调制下色噪声间关联的周期调制 对单模激光随机共振的影响

陈德彝 王忠龙

(三峡大学理学院物理系, 宜昌 443002)

(2008 年 8 月 6 日收到, 2008 年 9 月 10 日收到修改稿)

在色噪声间的关联程度受时间周期调制的激光系统中, 研究噪声受信号调制情况下的随机共振. 用线性化近似的方法计算了光强关联函数及信噪比. 具体讨论信噪比随噪声强度、噪声自关联时间、信号频率以及时间周期调制频率的变化关系. 发现一种新的随机共振: 信噪比随时间周期调制频率的变化出现周期振荡型随机共振, 发现广义随机共振: 信噪比随抽运噪声自关联时间的变化、随信号频率的变化出现随机共振, 同时也存在典型的信噪比随噪声强度的变化而出现的随机共振. 而信噪比随量子噪声自关联时间的变化表现为抑制.

关键词: 信号调制, 时间周期调制, 噪声间关联程度, 周期振荡型随机共振

PACC: 0540, 4260K

## 1. 引言

在激光通讯中, 要对信号进行调制. 因此, 激光系统中随机共振的研究必须考虑信号调制对随机共振的影响. 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>[1-4]</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>[5,6]</sup>. 我们曾讨论了对噪声间关联程度进行时间周期调制<sup>[7]</sup>情况下激光系统的随机共振, 分别讨论了色噪声和白噪声情况下关联程度受到周期调制时对激光系统随机共振的影响<sup>[8]</sup>.

为了更接近实际情况, 本文进一步研究在色噪声驱动的激光系统中, 在考虑关联程度周期调制的同时也考虑信号对色噪声的调制作用, 对激光系统随机共振的影响.

本文首先推导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信号调制噪声情况下的光强关联函数和信噪比, 然后讨论当  $\Omega_\lambda \neq n\Omega$  ( $n=1, 2, 3, \dots$ ) 时, 噪声自关联时间  $\tau_1, \tau_2$ , 信号频率  $\Omega$ , 噪声参数  $D$  以及时间周期调制频率  $\Omega_\lambda$  对信噪比的影响.

## 2. 光强关联函数和信噪比

抽运噪声受信号调制情况下, 单模激光增益模型的光强朗之万方程可写为

$$\frac{dI}{dt} = -2KI + \frac{2\Gamma I}{1+\beta I} + D + \frac{2I}{1+\beta I} \times A \cos(\Omega t) \xi(t) + 2\sqrt{I} \eta(t). \quad (1)$$

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  $\eta(t)$  的统计性质为

$$\begin{aligned} \xi(t) &= \eta(t) = 0, \\ \xi(t)\xi(t') &= \frac{Q}{2\tau_1} \exp\left[-\frac{|t-t'|}{\tau_1}\right], \\ \eta(t)\eta(t') &= \frac{D}{2\tau_2} \exp\left[-\frac{|t-t'|}{\tau_2}\right], \\ \xi(t)\eta(t') &= \eta(t)\xi(t') \\ &= 2\lambda \sqrt{QD} \cos(\Omega_\lambda t) \delta(t-t'), \\ &-1 \leq \lambda \leq 1. \end{aligned} \quad (2)$$

方程(1)中,  $I$  表示光强,  $K$  为损失系数,  $\Gamma$  是增益系数,  $\beta = \tilde{A}/\Gamma$ , 式中  $\tilde{A}$  为自饱和系数,  $D$  是量子噪声强度,  $A$  是调制强度,  $\Omega$  为输入信号频率. (2) 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.

可求出稳态光强为  $I_0 = (\Gamma - K) \beta K$ , 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

$$\frac{d\epsilon(t)}{dt} = -\gamma\epsilon(t) + D + \frac{2I_0}{1 + \beta I_0}$$

$$\times A \cos(\Omega t) \mathcal{K}(t) + 2\sqrt{I_0} \gamma(t), \quad (3)$$

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

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

可计算出平均光强关联函数为

$$\begin{aligned} \langle \mathcal{K}(t) \rangle &= \lim_{t' \rightarrow \infty} \overline{\mathcal{K}(t') \mathcal{K}(t+t')} = \lim_{t' \rightarrow \infty} \frac{\Omega}{2\pi} \int_{t'}^{t+t'} \mathcal{K}(t') \mathcal{K}(t+t') dt \\ &= \left( I_0 + \frac{D}{\gamma} \right)^2 + \frac{I_0^2 A^2 Q \tau_1^{-1}}{(1 + \beta I_0) [(\gamma^2 + \tau_1^{-2} + \Omega^2)^2 - 4\gamma^2 \tau_1^{-2}]} \\ &\times \left\{ \frac{\tau_1^{-1}}{\gamma} (\tau_1^{-2} - \gamma^2 + \Omega^2) \exp(-|t|) + \left[ 1 - \frac{\Omega(\gamma + \tau_1^{-1}) \left( 1 - \exp\left(-(\gamma + \tau_1^{-1}) \frac{2\pi}{\Omega}\right) \right)}{\pi(\gamma + \tau_1^{-1})^2 + \Omega^2} \right] \right. \\ &\times \left. \left[ 2\tau_1^{-1} \Omega \exp\left(-\frac{|t|}{\tau_1}\right) \sin(\Omega t) + (\Omega^2 + \gamma^2 - \tau_1^{-2}) \exp\left(-\frac{|t|}{\tau_1}\right) \cos(\Omega t) \right] \right\} \\ &+ \frac{8I_0^{3/2} A \lambda \Omega \sqrt{QD} \exp(-|t|)}{2\pi(1 + \beta I_0)} \left\{ \frac{1}{4\gamma^2 + (\Omega + \Omega_\lambda)^2} \left[ 1 - \cos\left(\frac{\Omega_\lambda}{\Omega} 2\pi\right) + \frac{2\gamma \sin\left(\frac{\Omega_\lambda}{\Omega} 2\pi\right)}{\Omega + \Omega_\lambda} \right] \right. \\ &+ \left. \frac{1}{4\gamma^2 + (\Omega - \Omega_\lambda)^2} \left[ 1 - \cos\left(\frac{\Omega_\lambda}{\Omega} 2\pi\right) - \frac{2\gamma \sin\left(\frac{\Omega_\lambda}{\Omega} 2\pi\right)}{\Omega - \Omega_\lambda} \right] \right\} \\ &+ \frac{4I_0 D}{2\tau_2(\gamma^2 + \tau_2^{-2})} \left[ \exp\left(-\frac{|t|}{\tau_2}\right) - \frac{\tau_1^{-2}}{\gamma} \exp(-|t|) \right], \quad (5) \end{aligned}$$

进而计算出输出功率谱

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \lim_{t' \rightarrow \infty} \overline{\mathcal{K}(t+t') \mathcal{K}(t')} e^{-i\omega t} dt = S_1(\omega) + S_2(\omega) + S_3(\omega).$$

其中 输出信号功率谱为

$$\begin{aligned} S_1(\omega) &= \frac{I_0^2 A^2 Q \tau_1^{-1}}{(1 + \beta I_0) [(\gamma^2 + \tau_1^{-2} + \Omega^2)^2 - 4\gamma^2 \tau_1^{-2}]} \\ &\times \left[ 1 - \frac{\Omega(\gamma + \tau_1^{-1}) \left( 1 - \exp\left(-(\gamma + \tau_1^{-1}) \frac{2\pi}{\Omega}\right) \right)}{\pi(\gamma + \tau_1^{-1})^2 + \Omega^2} \right] \\ &\times \left\{ 2\tau_1^{-1} \Omega \left[ \frac{\omega + \Omega}{\tau_1^{-2} + (\omega + \Omega)^2} - \frac{\omega - \Omega}{\tau_1^{-2} + (\omega - \Omega)^2} \right] \right. \\ &+ \left. (\Omega^2 + \gamma^2 - \tau_1^{-2}) \left[ \frac{\tau_1^{-1}}{\tau_1^{-2} + (\omega - \Omega)^2} + \frac{\tau_1^{-1}}{\tau_1^{-2} + (\omega + \Omega)^2} \right] \right\}, \end{aligned}$$

输出噪声功率谱是

$$\begin{aligned} S_2(\omega) &= \frac{2I_0^2 A^2 Q \tau_1^{-2} (\tau_1^{-2} - \gamma^2 + \Omega^2)}{(1 + \beta I_0) [(\gamma^2 + \tau_1^{-2} + \Omega^2)^2 - 4\gamma^2 \tau_1^{-2} (\gamma^2 + \omega^2)]} \\ &+ \frac{4I_0 D \tau_2^{-2}}{\gamma^2 + \tau_2^{-2}} \left( \frac{1}{\tau_2^{-2} + \omega^2} - \frac{1}{\gamma^2 + \omega^2} \right) + \left( I_0 + \frac{D}{\gamma} \right)^2 2\pi \delta(\omega), \end{aligned}$$

$$S_3(\omega) = \frac{8\gamma A \lambda \Omega \sqrt{I_0^3 QD}}{\pi(1 + \beta I_0)(\gamma^2 + \omega^2)} \left\{ \frac{1}{4\gamma^2 + (\Omega + \Omega_\lambda)^2} \left[ 1 - \cos\left(\frac{\Omega_\lambda}{\Omega} 2\pi\right) + \frac{2\gamma \sin\left(\frac{\Omega_\lambda}{\Omega} 2\pi\right)}{\Omega + \Omega_\lambda} \right] \right. \\ \left. + \frac{1}{4\gamma^2 + (\Omega - \Omega_\lambda)^2} \left[ 1 - \cos\left(\frac{\Omega_\lambda}{\Omega} 2\pi\right) - \frac{2\gamma \sin\left(\frac{\Omega_\lambda}{\Omega} 2\pi\right)}{\Omega - \Omega_\lambda} \right] \right\}.$$

输出信号总功率为

$$P_s = \int_0^\infty S_1(\omega) d\omega = \frac{I_0^2 A^2 Q \tau_1^{-1} \pi (\Omega^2 + \gamma^2 - \tau_1^{-2})}{(1 + \beta I_0) [(\gamma^2 + \tau_1^{-2} + \Omega^2)^2 - 4\gamma^2 \tau_1^{-2}]} \\ \times \left\{ 1 - \frac{\Omega(\gamma + \tau_1^{-1}) \left\{ 1 - \exp\left[-(\gamma + \tau_1^{-1}) \frac{2\pi}{\Omega}\right] \right\}}{\pi(\gamma + \tau_1^{-1})^2 + \Omega^2} \right\},$$

$\omega = \Omega$  处单位噪声谱的平均功率是

$$S_2(\omega = \Omega) = \frac{2I_0^2 A^2 Q \tau_1^{-2} (\tau_1^{-2} - \gamma^2 + \Omega^2)}{(1 + \beta I_0) [(\gamma^2 + \tau_1^{-2} + \Omega^2)^2 - 4\gamma^2 \tau_1^{-2} (\gamma^2 + \Omega^2)]} \\ + \frac{4I_0 D \tau_2^{-2} \left( \frac{1}{\tau_2^{-2} + \Omega^2} - \frac{1}{\gamma^2 + \Omega^2} \right)}{\pi(1 + \beta I_0)(\gamma^2 + \Omega^2)} \\ S_3(\omega = \Omega) = \frac{8\gamma A \lambda \Omega \sqrt{I_0^3 QD}}{\pi(1 + \beta I_0)(\gamma^2 + \Omega^2)} \left\{ \frac{1}{4\gamma^2 + (\Omega + \Omega_\lambda)^2} \left[ 1 - \cos\left(\frac{\Omega_\lambda}{\Omega} 2\pi\right) + \frac{2\gamma \sin\left(\frac{\Omega_\lambda}{\Omega} 2\pi\right)}{\Omega + \Omega_\lambda} \right] \right. \\ \left. + \frac{1}{4\gamma^2 + (\Omega - \Omega_\lambda)^2} \left[ 1 - \cos\left(\frac{\Omega_\lambda}{\Omega} 2\pi\right) - \frac{2\gamma \sin\left(\frac{\Omega_\lambda}{\Omega} 2\pi\right)}{\Omega - \Omega_\lambda} \right] \right\}.$$

最后计算出输出信噪比

$$R = \frac{P_s}{S_2(\omega = \Omega) + S_3(\omega = \Omega)} \\ = \frac{I_0^2 A^2 Q \tau_1^{-1} \pi (\Omega^2 + \gamma^2 - \tau_1^{-2})}{(1 + \beta I_0) [(\gamma^2 + \tau_1^{-2} + \Omega^2)^2 - 4\gamma^2 \tau_1^{-2}]} \\ \times \left\{ 1 - \frac{\Omega(\gamma + \tau_1^{-1}) \left\{ 1 - \exp\left[-(\gamma + \tau_1^{-1}) \frac{2\pi}{\Omega}\right] \right\}}{\pi(\gamma + \tau_1^{-1})^2 + \Omega^2} \right\} \\ / \left\{ \frac{4I_0 D \tau_2^{-2} \left( \frac{1}{\tau_2^{-2} + \Omega^2} - \frac{1}{\gamma^2 + \Omega^2} \right)}{\pi(1 + \beta I_0)(\gamma^2 + \Omega^2)} \right. \\ + \frac{2I_0^2 A^2 Q \tau_1^{-2} (\tau_1^{-2} - \gamma^2 + \Omega^2)}{(1 + \beta I_0) [(\gamma^2 + \tau_1^{-2} + \Omega^2)^2 - 4\gamma^2 \tau_1^{-2} (\gamma^2 + \Omega^2)]} \\ \left. + \frac{8\gamma A \lambda \Omega \sqrt{I_0^3 QD}}{\pi(1 + \beta I_0)(\gamma^2 + \Omega^2)} \left\{ \frac{1}{4\gamma^2 + (\Omega + \Omega_\lambda)^2} \left[ 1 - \cos\left(\frac{\Omega_\lambda}{\Omega} 2\pi\right) + \frac{2\gamma \sin\left(\frac{\Omega_\lambda}{\Omega} 2\pi\right)}{\Omega + \Omega_\lambda} \right] \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{1}{4\gamma^2 + (\Omega - \Omega_\lambda)^2} \left[ 1 - \cos\left(\frac{\Omega_\lambda}{\Omega} 2\pi\right) - \frac{2\gamma \sin\left(\frac{\Omega_\lambda}{\Omega} 2\pi\right)}{\Omega - \Omega_\lambda} \right] \right\} \right\}.$$

### 3. 讨 论

对激光增益模型,我们研究过噪声未受调制情况下的随机共振,本文讨论噪声  $\xi(t)$  受到信号调制情况下的随机共振.首先讨论  $\lambda$  为参数的  $R-\tau_1$ ,  $R-\tau_2$  曲线,然后讨论  $\tau_1, \tau_2$  为参数的  $R-\Omega, R-D$  曲线,最后讨论  $\tau_1, \lambda$  为参数的  $R-\Omega_\lambda$  曲线.

#### 3.1. $\lambda$ 为参数的 $R-\tau_1$ 曲线分析

图 1 是  $\lambda$  为参数的  $R-\tau_1$  曲线.曲线表明在信号调制抽运色噪声同时色噪声间关联受周期调制的情况下,信噪比随抽运色噪声自关联时间  $\tau_1$  的变化出现随机共振.当噪声间关联程度系数  $\lambda$  的值减小时,共振峰的位置向右移动,但共振峰峰值增高.说明降低噪声间关联程度系数  $\lambda$  会提高随机共振的共振峰峰值.

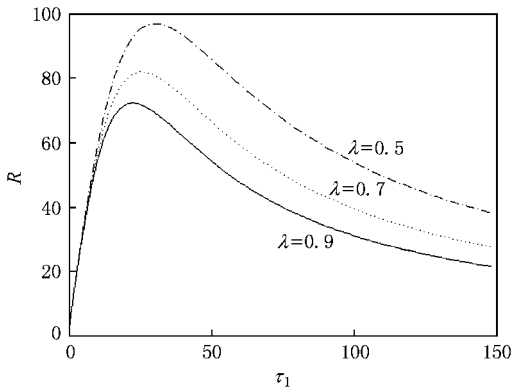


图 1  $\lambda$  为参数的  $R-\tau_1$  曲线 ( $A=8000, k=2, \Gamma=6000, D=0.4, I_0=1, \Omega=33, Q=0.6, \tau_2=6, \Omega_\lambda=23$ )

#### 3.2. $\lambda$ 为参数的 $R-\tau_2$ 曲线分析

图 2 是  $\lambda$  为参数的  $R-\tau_2$  曲线,曲线有极小值,即出现抑制现象.表明在考虑信号调制抽运色噪声同时噪声间关联受周期调制的情况下,信噪比随量子噪声自关联时间  $\tau_2$  的变化出现抑制现象.当噪声关联程度系数  $\lambda$  增大时,曲线形状不变,整条曲线位置下移.表明增大噪声间关联程度系数  $\lambda$  会加深抑制.

#### 3.3. $\tau_1, \tau_2$ 为参数时的 $R-\Omega$ 曲线分析

图 3(a)-(c) 是以  $\tau_1$  为参数的  $R-\Omega$  曲线,曲线显示出现随机共振.特点是共振发生在抽运噪声自

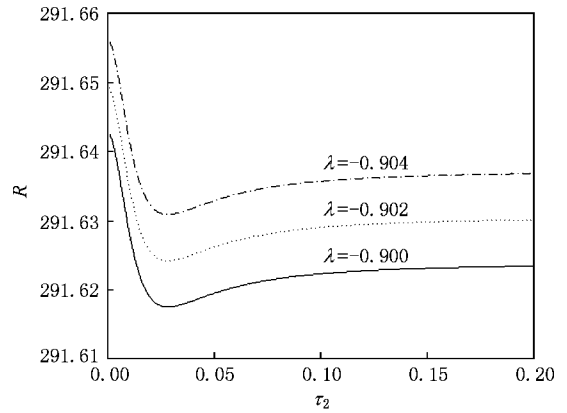


图 2  $\lambda$  为参数的  $R-\tau_2$  曲线 ( $A=200, k=40, \Gamma=500, D=0.4, I_0=1, \Omega=33, Q=0.6, \tau_1=0.015, \Omega_\lambda=23$ )

关联时间  $\tau_1$  较小且信号频率较小时.当抽运噪声自关联时间  $\tau_1$  增大时,共振曲线的上升段的斜率降低,共振曲线的极大值增大,极大值的位置向信号频率减小的方向偏移.图 4 是以量子噪声自关联时间  $\tau_2$  为参数的  $R-\Omega$  曲线,也出现随机共振,且共振也发生在信号频率较小处,当量子噪声自关联时间  $\tau_2$  增大时,共振曲线的极大值也增大,但共振曲线上上升段的斜率是增加的.可以看出,  $R-\Omega$  曲线对抽运噪声自关联时间  $\tau_1$  的变化反应敏感,而对量子噪声自关联时间  $\tau_2$  的变化反应迟钝.

#### 3.4. $\tau_1, \tau_2$ 为参数时的 $R-D$ 曲线分析

图 5 是以  $\tau_1$  为参数的  $R-D$  曲线,显示存在共振.当抽运噪声自关联时间  $\tau_1$  增大时,整条共振曲线向上移动.图 6 是以  $\tau_2$  为参数的  $R-D$  曲线,也存在共振.当量子噪声自关联时间  $\tau_2$  增大时,共振曲线在纵轴上的起点不变,极大值增大,极大值的位置向右偏移.量子噪声自关联时间  $\tau_2$  的提高能显著提高  $R-D$  曲线的峰值.

#### 3.5. $\tau_1, \lambda$ 为参数时的 $R-\Omega_\lambda$ 曲线分析

以  $\tau_1$  为参数的  $R-\Omega_\lambda$  曲线如图 7(a)-(c) 所示,为一周期振荡曲线,代表一种周期振荡型随机共振,共振的振幅和周期均随着时间周期调制频率的增大而减小,最后趋于一个稳定值.当抽运噪声自关联时间增大时,振荡的平衡位置上移,振荡的振幅增大.

以  $\lambda$  为参数的  $R-\Omega_\lambda$  曲线如图 8 所示,当  $\lambda \neq 0$  时为周期振荡曲线,振荡的振幅和周期均随着时间

周期调制频率的增大而减小,最后趋于一个稳定值.当  $\lambda = 0$  时曲线为水平直线,此水平直线是  $\lambda > 0$  的振荡曲线和  $\lambda < 0$  的振荡曲线的对称轴.

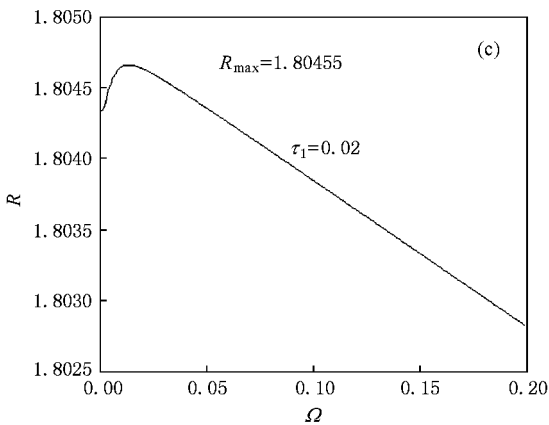
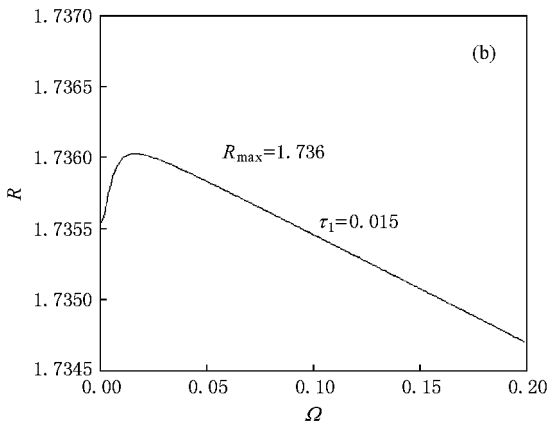
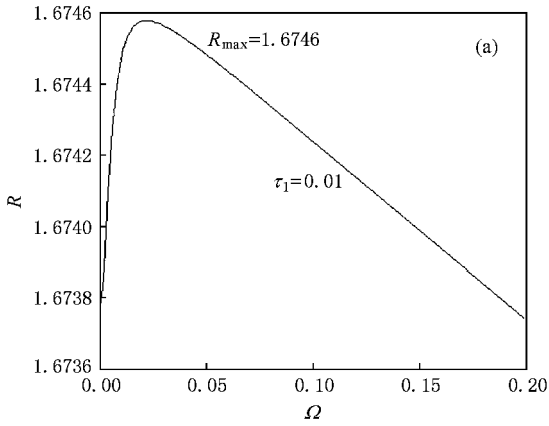


图3  $\tau_1$  为参数的  $R-\Omega$  曲线( $A = 700, k = 150, \Gamma = 153, \lambda = -0.9, I_0 = 1, \mu\Omega = 0.6, Q = 0.9, \tau_2 = 180, \mu\Omega_\lambda = 973$ )

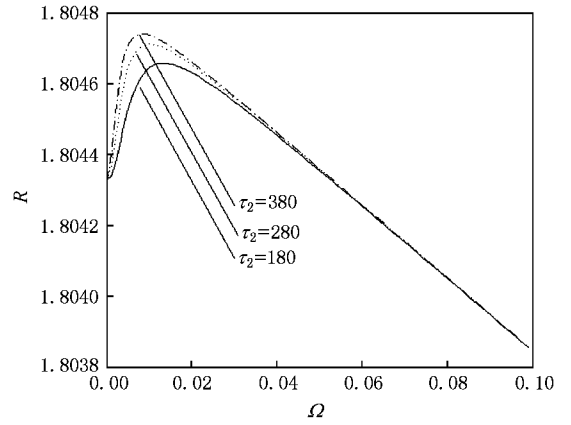


图4  $\tau_2$  为参数的  $R-\Omega$  曲线( $A = 700, k = 150, \Gamma = 153, \lambda = -0.9, I_0 = 1, \mu\Omega = 0.6, Q = 0.9, \tau_1 = 0.2, \mu\Omega_\lambda = 973$ )

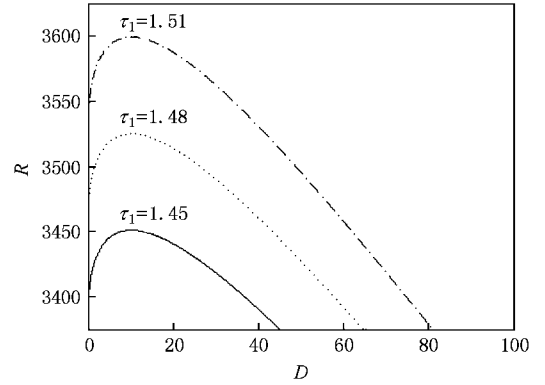


图5  $\tau_1$  为参数的  $R-\Omega$  曲线( $A = 800, k = 300, \Gamma = 6000, \lambda = -0.7, I_0 = 1, \mu\Omega = 800, Q = 0.6, \tau_2 = 0.003, \mu\Omega_\lambda = 23$ )

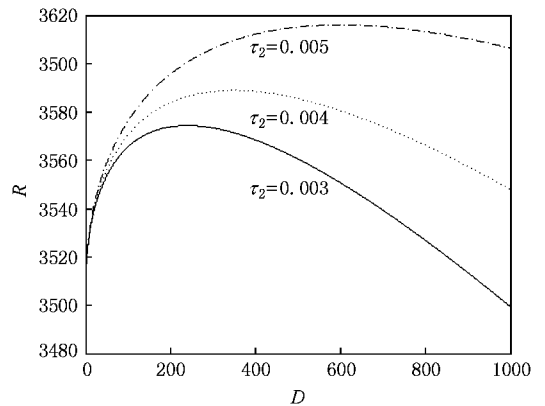


图6  $\tau_2$  为参数的  $R-\Omega$  曲线( $A = 8000, k = 300, \Gamma = 6000, \lambda = -0.7, I_0 = 1, \mu\Omega = 800, Q = 0.6, \tau_1 = 1.5, \mu\Omega_\lambda = 23$ )

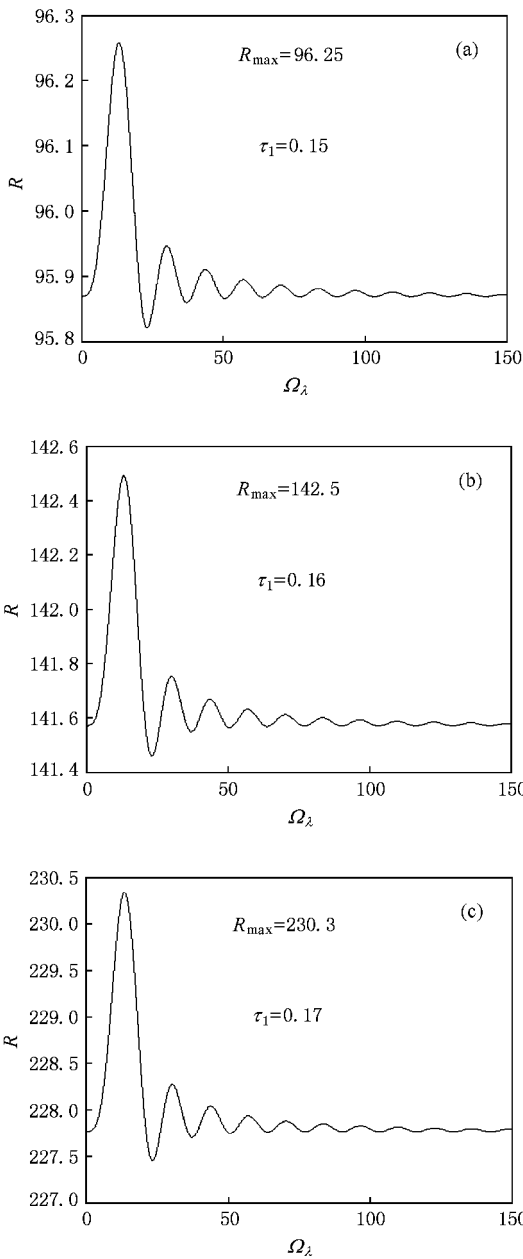


图7  $\tau_1$  为参数的  $R-\Omega_\lambda$  曲线(  $A = 8000, k = 7, \Gamma = 8000, \lambda = -0.6, J_0 = 1, \mu = 13, D = 0.3, \tau_2 = 30, \Omega_\lambda = 0.6$  )

### 4. 结 论

由于在考虑噪声间关联的时间周期调制的同时,又考虑了信号对噪声的调制,出现了不同于单纯考虑噪声间关联的时间周期调制的现象:

1. 单纯考虑噪声间关联的时间周期调制时  $R$ -

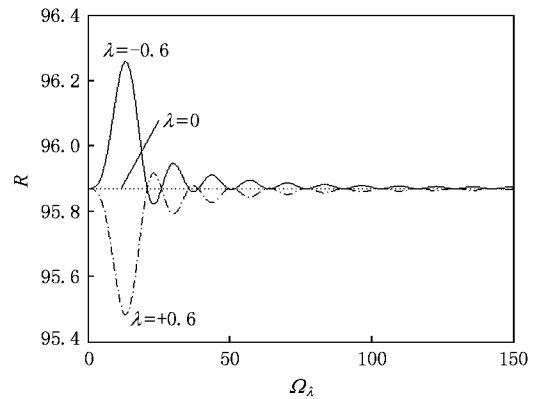


图8  $\lambda$  为参数的  $R-\Omega_\lambda$  曲线(  $A = 8000, k = 7, \Gamma = 8000, \tau_1 = 0.15, J_0 = 1, \mu = 13, D = 0.3, \tau_2 = 30, Q = 0.6$  )

$\tau_1$  曲线是单调增长的,考虑信号调制噪声后  $R-\tau_1$  曲线有极大值,即出现随机共振现象,提高抽运噪声强度或降低噪声间关联程度都会提高  $R-\tau_1$  曲线的共振峰峰值.

2. 单纯考虑噪声间关联的时间周期调制时  $R-\tau_2$  曲线是单调增长的,考虑信号调制噪声后  $R-\tau_2$  曲线有极小值,即出现抑制现象.增大关联程度系数或增大抽运噪声强度时,曲线形状不变,整条曲线位置下移,抑制加剧.

3.  $R-\Omega_\lambda$  曲线为周期振荡曲线,即出现周期振荡型随机共振,其振幅和周期随  $\Omega_\lambda$  的增大而减小,最后趋于稳定值.抽运噪声自关联时间  $\tau_1$  的变化影响振荡曲线的平衡位置, $R-\Omega_\lambda$  曲线随噪声间关联程度  $\lambda$  的变化为一工整的对称图形.

4.  $R-\Omega$  曲线有极大值,显示存在随机共振.抽运噪声自关联时间  $\tau_1$  对  $R-\Omega$  曲线的影响显著大于量子噪声自关联时间  $\tau_2$  对  $R-\Omega$  曲线的影响.

5. 线性化近似方法的适用问题,文献[9]进行了详细的分析讨论,结论是只要光强相对涨落  $\alpha(0) \ll 1$  线性化近似方法所得的结论是可靠的.

综上所述,在同时考虑信号调制噪声和噪声间关联的时间周期调制,存在典型随机共振( $R-D$  曲线有极大值),也存在广义随机共振( $R-\tau_1, R-\Omega$  曲线有极大值),还存在抑制现象( $R-\tau_2$  曲线有极小值),同时发现新的随机共振——周期振荡型随机共振( $R-\Omega_\lambda$  曲线为周期振荡曲线).



- [ 1 ] Cao L ,Wu D J 2003 *Europhys . Lett .* **61** 593
- [ 2 ] 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 ]
- [ 3 ] 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 ]
- [ 4 ] 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 ]
- [ 5 ] 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 ]
- [ 6 ] 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 ]
- [ 7 ] Tessone C J ,Wio H S ,Hanggi P 2000 *Phys . Rev . E* **62** 4623
- [ 8 ] 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 ]
- [ 9 ] Garcia E ,Toral R ,San Miguel M 1990 *Phys . Rev . A* **42** 6823

## Effect of the period modulation of the correlation intensity between color noises on the stochastic resonance of the single-mode laser with the signal modulation

Chen De-Yi Wang Zhong-Long

( Department of Physics ,Science College ,China Three Gorges University ,Yichang 443002 ,China )

( Received 6 August 2008 ; revised manuscript received 10 September 2008 )

### Abstract

For the laser system in which the correlation intensity between color noises is modulated by the time period ,we investigate the stochastic resonance with the signal modulation of the noise . By means of the linear approximation ,we calculate the intensity correlation function and signal-to-noise ratio ( SNR ) and discuss the evolution of the SNR with the noise intensity and self-correlation time of noises and signal frequency and time period modulation frequency . A new stochastic resonance is found . The evolution of the signal-noise ratio with the time period modulation frequency reveals periodic oscillation . We obtain the generalized stochastic resonance , in which the evolution of the signal-noise ratio with the self-correlation time of the pump noises and signal frequency presents the stochastic resonance . The typical stochastic resonance of the signal-noise ratio with the noise intensity is obtained also . The evolution of the signal-noise ratio with the self-correlation time of the quantum noise shows the restraintment .

**Keywords** : signal modulation , time period modulation , correlation intensity between color noises , stochastic resonance with the period oscillation

**PACC** : 0540 , 4260K