

ШИРИНА ПОЛОСЫ СИНХРОНИЗАЦИИ В ТВЕРДОТЕЛЬНОМ КОЛЬЦЕВОМ ЛАЗЕРЕ

*Е.Л.Клочан, Л.С.Корниенко, Н.В.Кравцов,
Е.Г.Ларионцев, А.Н.Шелаев*

Проведено исследование режимов синхронизации в твердотельном кольцевом лазере. Установлено, что: 1) в отличие от газового лазера, существуют режимы синхронизации, не переходящие в режим биений при увеличении скорости вращения; 2) возможен переход автомодуляционных режимов в режим синхронизации при больших скоростях вращения.

1. Кольцевые лазеры (КЛ) успешно используются в качестве измерителей малых скоростей вращения. Измерения обычно проводятся в режиме биений, т. е. вне полосы синхронизации встречных волн. В связи с этим одним из важнейших параметров КЛ является ширина полосы синхронизации Ω_0 . Для газовых КЛ (ГКЛ) зависимость Ω_0 от параметров лазера детально изучена [1], тогда как в случае твердотельных КЛ (ТКЛ) такие исследования только начаты [2].

В настоящей работе проводится теоретическое и экспериментальное исследование режима синхронизации встречных волн в ТКЛ. Показано, что зависимость Ω_0 от параметров лазера существенно отличается от соответствующей зависимости в ГКЛ. Теоретическое рассмотрение проводится в предположении, что режим генерации является одномодовым, добротности резонатора для встречных волн равны и частоты волн близки к центру линии усиления.

2. Одной из особенностей, характерных лишь для ТКЛ, является существование режимов синхронизации встречных волн, непереходящих в режим биений при увеличении скорости вращения.

В покоящемся ТКЛ режим синхронизации встречных волн устойчив при [2]

$$m \left| \sin \frac{\theta_1 - \theta_2}{2} \right| > \frac{1}{3} \frac{\omega}{Q} \eta. \quad (1)$$

Здесь $\theta_1 - \theta_2 \equiv 2\delta$ разность фаз коэффициентов обратной связи, $\frac{\omega}{Q}$ —

ширина полосы резонатора. Модули коэффициентов обратной связи m полагаются равными и превышение уровня накачки над порогом η малым ($\eta \ll 1$). Рассмотрим случай коэффициентов связи, близких к комплексно-сопряженным ($\theta_1 - \theta_2 \ll 1$). В соответствии с (1) режим синхронизации может быть устойчивым лишь при наличии "сильной"

обратной связи ($\epsilon \equiv \frac{\omega\eta}{Qm} \ll 1$). В этом случае удается аналитически

получить решение, описывающее режим синхронизации встречных волн:

$$a E_{1,2}^2 = \frac{\sqrt{m^2 + \Omega^2} \pm \Omega}{3m^2 + 2\Omega^2} \left[\frac{\epsilon - |\delta|}{\epsilon - \eta|\delta|} \sqrt{m^2 + \Omega^2} + \frac{\delta}{\epsilon - \eta|\delta|} m \right] \quad (2)$$

$$\sin\left(\Phi - \frac{\theta_1 + \theta_2}{2}\right) = -\Omega \frac{m[\epsilon - |\delta|] - 2\delta\sqrt{m^2 + \Omega^2}}{3m^2 + 2\Omega^2} \ll 1.$$

Решение (2) получено в первом приближении по малым параметрам ϵ и δ . Здесь $a E_{1,2}^2$ — безразмерные интенсивности встречных волн (a — параметр насыщения), $\Phi = \phi_1 - \phi_2$ — разность фаз волн, Ω — разность собственных частот резонатора для встречных волн. Аналогичное решение сильной связи существует и в ГКЛ, причем оно устойчиво внутри полосы синхронизации $\Omega_0 = m/\sqrt{2}$ [1]. При $|\Omega| > \Omega_0$ возникает режим биений. В ТКЛ условие устойчивости режима синхронизации оказывается существенно иным из-за большого времени релаксации инверсной населенности. Это условие имеет вид:

$$[\epsilon - |\delta|]m - 2|\delta|\sqrt{m^2 + \Omega^2} < 0. \quad (3)$$

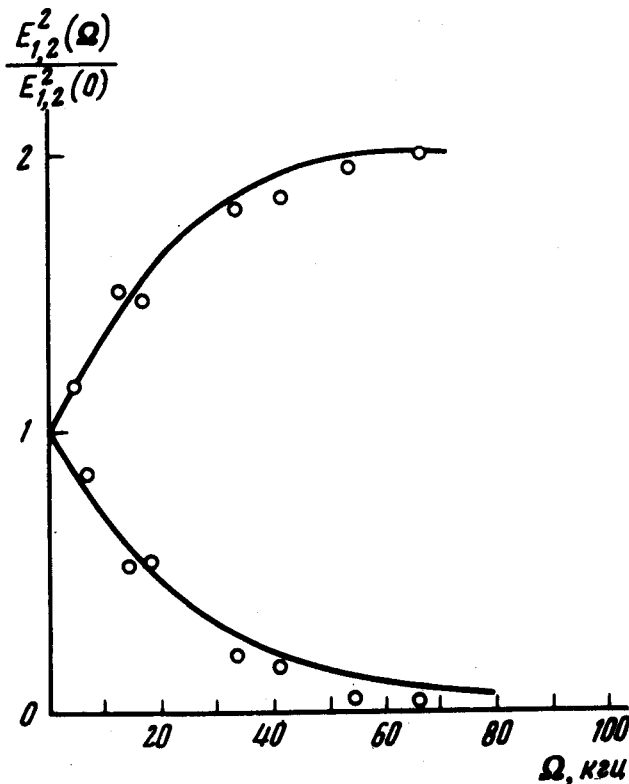


Рис. 1. \circ — экспериментальные точки. — — теоретическая кривая ($m \frac{Q}{\omega} = 0,8$; $\delta = 0,05$; $\eta = 0,1$)

Из (3) следует, что если режим синхронизации в покоящемся ТКЛ устойчив ($\epsilon < 3|\delta|$), то он остается устойчивым при любых скоростях вращения. Таким образом, в рассматриваемом случае режим биений в ТКЛ не может возникнуть. В режиме синхронизации встречных волн в соответствии с (2) при увеличении Ω происходит подавление одной из встречных волн (рис. 1).

Если в покоящемся ТКЛ режим синхронизации неустойчив ($\epsilon > 3|\delta|$), то в соответствии с (3) начиная со значений

$$|\Omega| \geq \Omega_1 \approx \frac{\omega}{Q} \sqrt{\eta^2 - 2\eta m|\delta| - 3m^2\delta^2/2m|\delta|}$$

этот режим становится устойчивым. В этом случае при $|\Omega| < \Omega_1$ имеет место автомодуляционный режим генерации. С увеличением скорости вращения он переходит в режим синхронизации.

При значениях коэффициентов связи, близких к антикомплексно-сопряженным ($\theta_1 - \theta_2 = \pm \pi$), режим синхронизации встречных волн исследовался в [2]. В этом случае в ТКЛ полоса синхронизации имеет ширину $\Omega_0 = \left[m^2 - \frac{1}{4} \left(\frac{\omega}{Q} \eta - m \right)^2 \right]^{1/2}$. В области $|\Omega| > \Omega_0$ возникает режим биений.

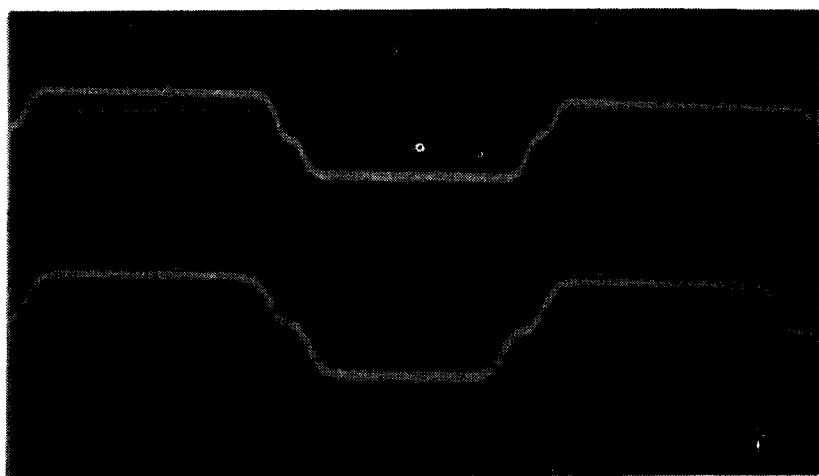
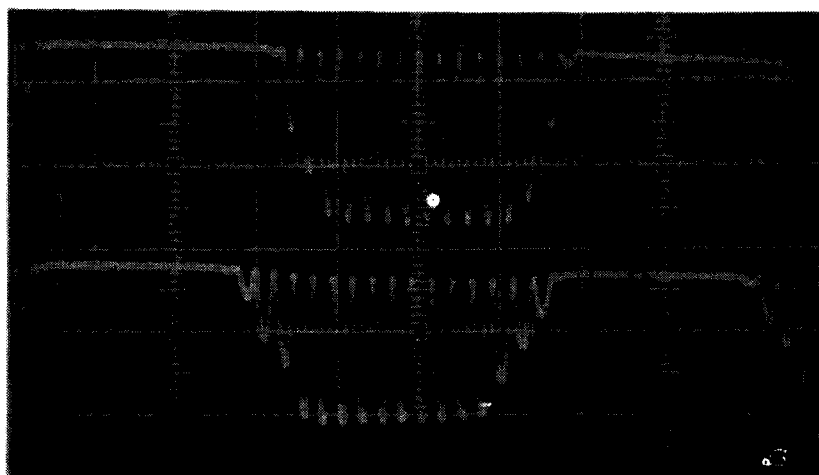


Рис. 2. а - $\Omega = 0$, б - $\Omega = 220$ кГц. Развертка 200 мксек/дел

3. Экспериментальные исследования проводились на непрерывно-действующем ТКЛ на $YAG: Nd^{3+}$. Величина связи встречных волн изменялась путем просветления торцов кристалла, использованием кристаллов с брюстеровскими торцами и при перестройке резонатора [2].

При использовании кристаллов с просветленными (остаточный коэффициент отражения $\lesssim 0,4\%$) и брюстеровскими торцами режимы генерации в ТКЛ зависят от величины и фазы коэффициентов связи, определяемых настройкой резонатора. При определенных настройках в покоящемся ТКЛ существует режим синхронизации, который при увеличении скорости вращения не переходит в режим биений. При достаточно больших скоростях вращения происходит подавление одной из встречных волн (рис. 1).

Изменением настройки резонатора можно получить режимы синхронизации с конечной шириной полосы синхронизации Ω_0 , переходящие при $|\Omega| > \Omega_0$ в режим биений. Ширина полосы синхронизации в зависимости от настройки резонатора изменялась от нескольких $кГц$ до $2 МГц$. При использовании кристаллов с торцами, срезанными под углом Брюстера, значение Ω_0 изменялось в пределах от $1 кГц$ до $20 кГц$. Внутри области захвата наблюдалось некоторое подавление одной из встречных волн (обычно подавлялась волна, распространяющаяся против направления вращения). При выходе из области захвата интенсивности встречных волн скачкообразно выравнивались и оказывались промодулированными в противофазе на частоте, совпадающей с частотой биений, наблюдаемой при смещении встречных волн. Следует отметить, что вблизи границы захвата частота биений несколько превышала разность собственных частот резонатора Ω .

При некоторых настройках резонатора в покоящемся ТКЛ наблюдался автомодуляционный режим генерации (рис. 2, а; излучение промодулировано вертушкой). При увеличении скорости вращения происходит увеличение частоты автомодуляционных колебаний и уменьшение их амплитуды. При достаточно больших скоростях вращения автомодуляционный режим переходит в режим синхронизации встречных волн (рис. 2, б).

Таким образом проведенное выше теоретическое рассмотрение находится в достаточно хорошем согласии с результатами экспериментальных исследований.

Институт ядерной физики
Московского
государственного университета
им. М.В.Ломоносова

Поступила в редакцию
5 ноября 1974 г.

Литература

- [1] Волновые и флуктуационные процессы в лазерах. Ред. Ю.Л.Климонтович. М., изд. Наука, 1974.
- [2] Е.Л.Клочан, Л.С.Корниенко, Н.В.Кравцов, Е.Г.Ларионцев, А.Н.Шелаев. ЖЭТФ, 65, 1344, 1973.