

УДК 631.375.82

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

М. В. ДАНИЛЕЙКО, А. П. НЕДАВНИЙ, А. Н. НИКОЛАЕНКО,
В. П. ФЕДИН, М. Т. ШПАК

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ГЕНЕРАЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ВОСПРОИЗВОДИМОСТИ ЧАСТОТЫ СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ КОЛЬЦЕВЫХ ЛАЗЕРОВ

(Представлено академиком Б. Е. Патеном 7 IV 1975)

1. Воспроизводимость частоты газовых лазеров, стабилизация которых осуществляется по резонансам мощности кольцевого лазера на центре линии поглощающего газа, существенно зависит от точности совмещения центров линий усиливающей ω_+ и поглощающей ω_- сред. Известен метод совмещения центров линий усиления и поглощения с точностью $\sim 10^4$ гц с помощью резонансов мощности кольцевого лазера, возникающих за счет фазового взаимодействия бегущих волн ⁽¹⁾. Дальнейшее повышение точности совмещения ω_+ и ω_- ограничено значительной шириной резонанса на центре линии усиления, составляющей единицы Мегагерц ⁽²⁾. Как показано в ⁽³⁾, в кольцевом лазере возможен автоколебательный режим, имеющий вид сверхузких ($\sim$ несколько килогерц) резонансов мощности и 100% контрастности.

В этой связи представляет интерес использовать автоколебательный режим генерации для повышения воспроизводимости частоты стабилизированных кольцевых лазеров. Ниже теоретически и экспериментально исследуется данный вопрос. Показано, что использование автоколебательного режима генерации позволит более точно ($\sim 10^2$ гц) совмещать центры линий усиливающей ω_+ и поглощающей ω_- сред, что открывает возможности получения высокой ($\sim 10^{-15}$) воспроизводимости частоты стабилизированных газовых лазеров.

2. Система уравнений, описывающих режимы генерации кольцевого лазера, приводится к виду

$$\begin{aligned}\dot{\Psi} &= \frac{v}{Q} m \sin \Phi + \frac{v}{Q} p \sin \Psi \cos \Psi, \\ \dot{\Phi} &= \frac{v}{Q} \cos \Psi \left(m \frac{\cos \Phi}{\sin \Psi} - \Delta \right),\end{aligned}\tag{1}$$

где $\Phi = \Phi_1 - \Phi_2$ — разность бегущих волн поля

$$E(x, t) = E_1(t) \cos[vt - kx + \Phi_1(t)] + E_2(t) \cos[vt + kx + \Phi_2(t)];\tag{2}$$

m — коэффициент связи между волнами, Q — добротность резонатора.

Зависимость интенсивности бегущих волн описывается переменной Ψ :

$$E_1^2 = (E_1^2 + E_2^2) \cos^2 \frac{\Psi}{2}, \quad E_2^2 = (E_1^2 + E_2^2) \sin^2 \frac{\Psi}{2};\tag{3}$$

параметр

$$p = \frac{1}{2} \sum_i \frac{a_i}{2} \left[\frac{(\omega_i - v)^2}{(\omega_i - v)^2 + \gamma_i^2} - \frac{\gamma_i \Gamma_i}{(ku)_i^2} \right] \cdot E_0^2\tag{4}$$

учитывает спектральное (первое слагаемое) и пространственное (второе слагаемое) выгорания многокомпонентной среды лазера; алгебраическое

суммирование в (4) производится по числу компонент кольцевого лазера. Γ_i , γ_i — соответственно радиационная и однородная ширины линий.

Исследование системы (1) на устойчивость показывает, что при

$$m \geq m_{кр} = \frac{|p|}{\sqrt{2}} \quad (5)$$

переменная Ψ испытывает гармонические колебания с частотой

$$\Omega = \frac{\nu}{Q} m,$$

т. е. возникает автоколебательный режим перекачки энергии из одной бегущей волны в другую.

3. В кольцевом лазере с одной усиливающей средой автоколебательный режим возникает на центре линии ω_+ с шириной, определяемой лишь флуктуациями параметров кольцевого лазера. Для флуктуационной ширины резонанса можем записать

$$[\overline{\delta\nu^2}]^{1/2} \approx \gamma_+ \frac{4\sqrt{2}}{a_+ E_0^2} \cdot [(\overline{m - m_{кр}})^2]^{1/2}, \quad (6)$$

где $[(\overline{m - m_{кр}})^2]^{1/2}$ — среднеквадратичное отклонение коэффициента связи волн от его критического значения $m_{кр}$, при котором режим двух бегущих волн различной интенсивности в кольцевом лазере становится неустойчивым. Если предпринять специальные меры по повышению стабильности параметров кольцевого лазера, то ширина автоколебаний не превышает 5 кГц, что более чем на два порядка уже резонанса на центре линии усиления.

Нами предлагается метод более точного ($\sim 10^2$ Гц) совмещения центров линии усиления и поглощения кольцевого лазера. Используя известную схему (4), представляется возможным стабилизировать излучение в дополнительном кольцевом лазере по автоколебаниям на центре резонанса активной среды. При сбиении излучения основного кольцевого лазера, стабилизированного по центру метанового пика, и дополнительного формируется сигнал ошибки, выражающийся в разности частот обоих лазеров. Этот сигнал ошибки используется в системе автоматической регулировки давления (а.р.д.).

На рис. 1 показана осциллограмма зависимости выходной мощности кольцевого лазера ($\lambda = 3,39$ мкм) от частоты генерации при фазовой связи бегущих волн. На центре линии усиления ω_+ возникает резонанс за счет фазовой связи (1) и автоколебательный режим (2).

4. Доказано теоретически и подтверждено нами экспериментально наличие автоколебаний на центре линии поглощения метана ω_- . Если $\omega_- = \omega_+$ возникающий при $m = m_{кр}$ резонанс мощности точно воспроизводит собственную частоту поглощающего газа.

Если $\omega_+ \neq \omega_-$, то (5) можно записать в виде

$$m_{кр} = \frac{1}{4\sqrt{2}} \left[\frac{\gamma_+ \Gamma}{(ku)^2} - \frac{(\omega_+ - \omega_-)^2}{\gamma_+^2} \right] a_+ E_0^2. \quad (7)$$

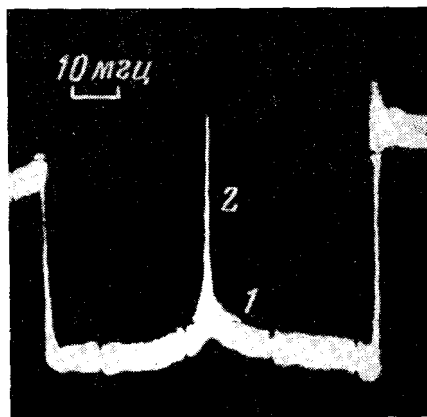


Рис. 1. Осциллограмма зависимости выходной мощности кольцевого лазера с одной усиливающей средой от частоты генерации при фазовой связи бегущих волн

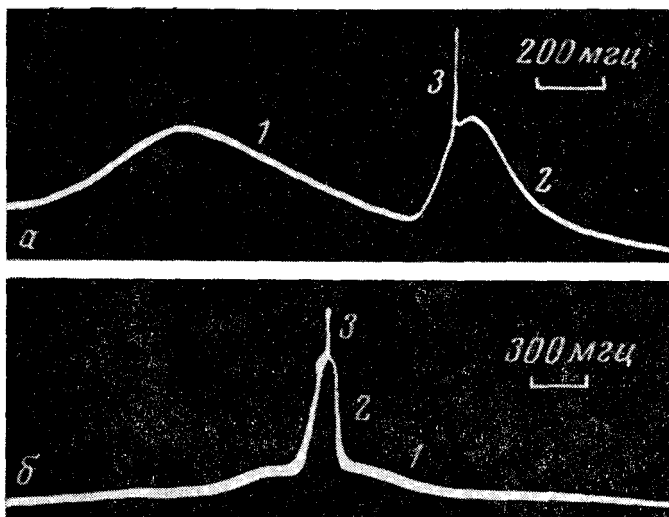


Рис. 2. Осциллограммы, демонстрирующие совмещение центров усиливающей ω_+ (1) и поглощающей ω_- (2) сред в кольцевом лазере с помощью автоколебаний (3) на центре поглощающего газа. а - $\omega_+ \neq \omega_-$, б - $\omega_+ = \omega_-$

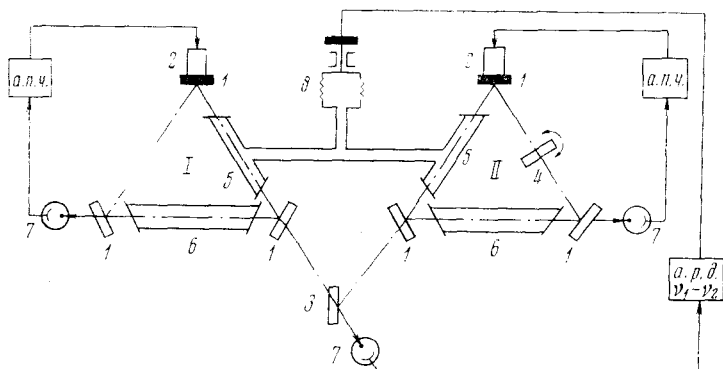


Рис. 3. Схема совмещения центров линий усиливающей ω_+ и поглощающей ω_- сред в кольцевом стандарте частоты I с помощью автоколебаний на центре поглощающего газа в дополнительном кольцевом лазере II. 1 — зеркала резонаторов, 2 — сканирующий элемент; 3 — сместительное зеркало, 4 — кварцевая пластинка для создания фазовой связи бегущих волн, 5 — активная среда, 6 — поглощающая среда, 7 — фотоприемник, 8 — поршень для изменения давления

Из (7) следует, что при расстройке центров усиливающей и поглощающей сред, автоколебания на метановом пике смещены к центру линии усиления из-за эффекта затягивания частоты. Совпадение центров метанового пика и автоколебаний имеют место только при точном совмещении центров линий усиливающей и поглощающей сред.

На рис. 2 показаны осциллограммы зависимости выходной мощности от частоты генерации кольцевого лазера, полученные при совмещении центров линий усиления ω_+ (1) и поглощения ω_- (2) с помощью автоколебаний (3). В случае совпадения центров линий усиливающей и поглощающей сред (рис. 2б), автоколебательный резонанс точно фиксирует центр метанового пика.

5. Предлагается схема совмещения центров линий усиливающей и поглощающей сред с помощью автоколебаний на центре поглощающего газа (рис. 3). В дополнительном кольцевом лазере II реализуется режим автоколебаний на резонансе поглощающего газа ($m \simeq m_{кр}$). Система автоматической подстройки частоты (а.п.ч.) стабилизирует частоту дополнительного кольцевого лазера по центру автоколебаний. Блок автоматической регулировки давления производит стабилизацию давления в соединенных между собой усиливающих трубках обоих лазеров по нулю разностной частоты биений основного кольцевого лазера, стабилизированного по метановому пику и дополнительно, что соответствует совпадению линий усиливающей ω_+ и поглощающей ω_- сред.

Предложенный метод является более предпочтительным, поскольку в данном случае автоколебания совмещаются с центром метанового пика, ширина которого много меньше ширины резонанса на центре усиливающей среды.

Авторы признательны Э. М. Беленову за полезные обсуждения.

Поступило
3 IV 1975

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Э. М. Беленов, А. В. Гнатовский и др., Письма ЖЭТФ, т. 15 368 (1974). ² Н. Г. Басов, Э. М. Беленов и др., ДАН, т. 240, № 2 (1973). ³ Э. М. Беленов, М. В. Данилейко и др., Квантовая электроника, т. 1, № 12 (1974); Ю. Л. Климентович, П. С. Ланда, Е. С. Ларионцев, ЖЭТФ, т. 52, 1616 (1967). ⁴ В. А. Алексеев, Н. Г. Басов и др., Квантовая электроника, т. 1, № 5 (1974).