

ЛАЗЕРНЫЙ КОЛЬЦЕВОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТР СО СПЕЦИАЛЬНЫМИ СЕЛЕКТИРУЮЩИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

В. Н. Кутыин и Б. И. Трошин

Дан анализ трех систем лазерных кольцевых резонаторов.

В настоящее время можно выделить три типа лазерных резонаторов, обладающих характерными селективирующими свойствами, реализуемыми методами лучевой интерферометрии. Это хорошо известный трехзеркальный лазерный интерферометр [1], интерферометр по схеме Смита [2] и лазерный интерферометр Майкельсона [3]. Оптические схемы лазеров показаны на рисунке и обозначены буквами A, B, B' — соответственно. На рисунках A', B', B' прямыми линиями условно изображен спектр резонансных частот интерферометра Фабри—Перо, а кривая линия качественно характеризует эффективный коэффициент отражения ($R_3^{\text{эф}}$) системы зеркал, обведенных на рисунках A, B, B' штриховыми линиями. Эти кривые собственно и описывают селективирующие свойства соответствующих лазерных резонаторов. Все более широкое применение, которое получает оптический квантовый генератор с кольцевой геометрией интерферометра, определило интерес к рассмотрению кольцевых лазерных резонаторов с требуемыми селективирующими свойствами.

В данной работе проведен анализ трех схем лазерных кольцевых резонаторов (см. рисунки A'', B'', B''), которые, как будет показано ниже, имеют селективирующие характеристики, подобные характеристикам линейных резонаторов по схемам A, B, B' соответственно.

Отметим также, что предложенные оптические схемы лазерных кольцевых резонаторов сохраняют основное свойство интерферометров с кольцевой геометрией (резонансными являются бегущие волны), т. е. в приведенных оптических схемах отсутствует прямая взаимная связь между встречными волнами, за исключением, конечно, взаимной связи через рассеяние на оптических элементах резонатора.

Рассмотрение проведено в приближении плоской волны по методике, изложенной в [2]. При записи полученных выражений использованы следующие обозначения: $r_1, r_2, \dots, \tau_1, \tau_2, \dots$ — соответствующие коэффициенты отражения и пропускания зеркал по амплитуде; $R_1=r_1^2, R_2=r_2^2, \dots$ и $T_1=\tau_1^2, T_2=\tau_2^2, \dots$ — энергетические коэффициенты отражения и пропускания зеркал; l_{mn} — расстояние между двумя зеркалами с индексами, соответствующими номерам зеркал по схеме.

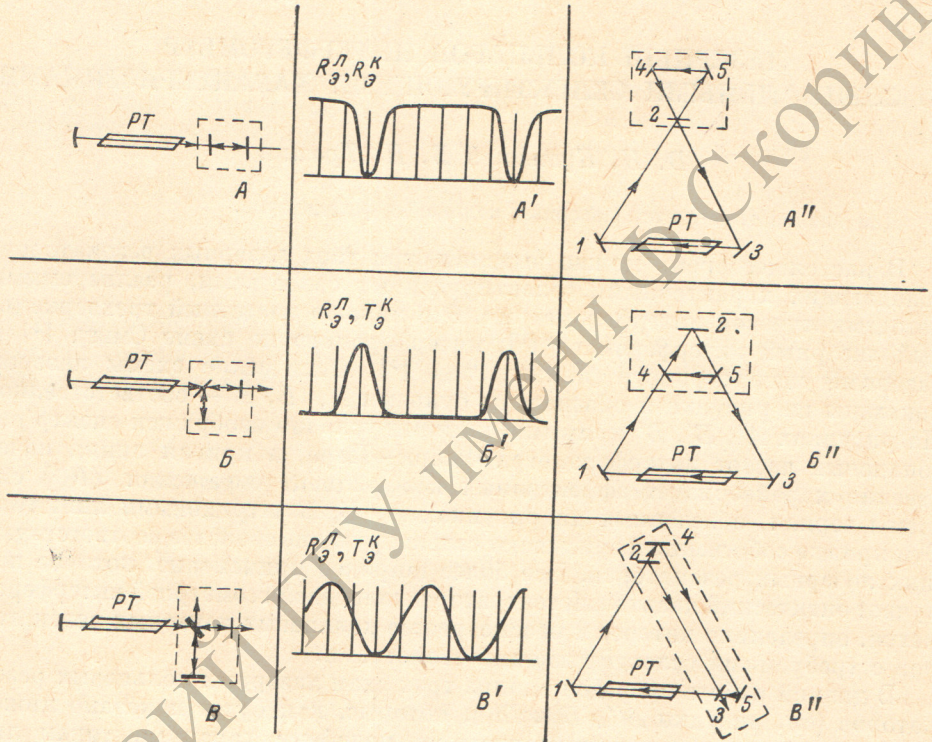
Для кольцевого интерферометра по схеме A'' получено следующее уравнение, определяющее спектр резонансных длин волн (или частот):

$$\begin{aligned} [r_2 + r_2 R_4 R_5 (R_5 + T_2)] \sin \frac{2\pi}{\lambda} L' = R_2 r_4 r_5 \sin \frac{2\pi}{\lambda} (L' - L) + \\ + r_4 r_5 (R_2 + T_2) \sin \frac{2\pi}{\lambda} (L' + L), \end{aligned} \quad (1)$$

где λ — длина волны, $L' = l_{23} + l_{31} + l_{12}$, $L = l_{25} + l_{45} + l_{42}$.

Эффективный коэффициент отражения — R_3^k — системы зеркал, обведенной на рисунке штриховыми линиями, равен

$$R_3^k = \frac{R_2 + R_4 R_5 (R_2 + T_2)^2 - 2r_2 r_4 r_5 (R_2 + T_2) \cos \frac{2\pi}{\lambda} L}{1 + R_2 R_4 R_5 - 2r_2 r_4 r_5 \cos \frac{2\pi}{\lambda} L} \quad (2)$$



Оптические схемы и селекционирующие характеристики линейных и кольцевых интерферометров.

PT — разрядные трубки, 1—5 — зеркала, образующие кольцевые интерферометры. R_3^k, R_3^k — эффективные коэффициенты отражения системы зеркал, обведенных на рисунках штриховой линией, для линейных и кольцевых резонаторов соответственно. T_3^k — эффективный коэффициент пропускания.

Зависимость $R_3^k = f(\nu = c/\lambda)$ показана на рисунке A'. Форму записи выражений (1), (2) можно упростить, полагая $r_2 = r_4 r_5$, $T_2 + R_2 = 1$. Получаем

$$(1 + R_2^2) \sin \frac{2\pi}{\lambda} L' = R_2 \sin \frac{2\pi}{\lambda} (L' - L) + \sin \frac{2\pi}{\lambda} (L' + L),$$

$$R_3^k = R_2 \frac{4 \sin^2 \frac{\pi}{\lambda} L}{(1 + R_2)^2 + 4R_2 \sin^2 \frac{\pi}{\lambda} L}$$

В случае $r_2 = r_5$ выражение для R_3^k имеет вид

$$R_3^k = R_2 \frac{[1 - r_4 (R_2 + T_2)]^2 + 4r_4 (R_2 + T_2) \sin^2 \frac{\pi}{2} L}{(1 - r_4 R_2)^2 + 4r_4 R_2 \sin^2 \frac{\pi}{\lambda} L} \quad (3)$$

Для схемы, показанной на рисунке B'' , соответственно получено

$$\sin \frac{2\pi}{\lambda} L' = r_2 r_4 r_5 \sin \frac{2\pi}{\lambda} (L' - L),$$

где

$$L = l_{42} + l_{25} + l_{45}, \quad L' = l_{14} + l_{42} + l_{25} + l_{53} + l_{31},$$

$$T_{31}^k = \frac{R_2 T_4 T_5}{1 + R_2 R_4 R_5 - 2r_2 r_4 r_5 \cos \frac{2\pi}{\lambda} L},$$

T_{31}^k — эффективный коэффициент пропускания системы зеркал 4, 2, 5. При $r_4 = r_5 = r$ и $\tau_4 = \tau_5 = \tau$

$$T_{31}^k = \frac{R_2 T^2}{(1 - r_2 R)^2 + 4r_2 R \sin^2 \frac{\pi}{\lambda} L} \approx \frac{r_2 T^2}{(1 - r_2 R)^2 + 4r_2 R \sin^2 \frac{\pi}{\lambda} L}. \quad (4)$$

Зависимость $T_{31}^k = f(\nu = \frac{c}{\lambda})$ представлена на рисунке B' .

Следует заметить, что форма записи для R_3^k , T_{31}^k в виде (3) и (4) тождественна выражениям для коэффициента отражения и пропускания интерферометра Фабри—Перо, если под r_4 и r_2 понимать коэффициенты пропускания по энергии среды, находящейся внутри интерферометра [4].

Для последней схемы B'' имеют место следующие соотношения:

$$r_2 r_3 \sin \frac{2\pi}{\lambda} (l_{23} + l_{12} + l_{13}) + \tau_2 \tau_3 r_4 r_5 \sin \frac{2\pi}{\lambda} (l_{12} + l_{13} + l_{35} + l_{45} + l_{24}) = 0,$$

$$T_{32}^k = R_2 R_3 + 2\tau_2 \tau_3 r_2 r_3 r_4 r_5 \cos \frac{2\pi}{\lambda} L + T_2 T_3 R_4 R_5,$$

где $L = l_{23} - l_{35} - l_{45} - l_{24}$.

При $r_4 = r_5 = 1$, $r_2 = r_3 = r$, $\tau_2 = \tau_3 = \tau$

$$T_{32}^k = (R + T)^2 - 4TR \sin^2 \frac{\pi}{\lambda} L \approx 1 - 4TR \sin^2 \frac{\pi}{\lambda} L.$$

На рисунке B' показана зависимость $T_{32}^k = f(\nu)$ при $T = R = 0.5$.

Как видно из рисунка (A' , B' , B''), фильтрующие свойства каждого из резонаторов существенно различны между собой, что в принципе предполагает их использование для различных приложений. Так, резонатор по схеме A'' может быть применен в лазере, где требуется подавление одного типа колебаний из всего возможного спектра частот генерирующих мод. Резонатор по схеме B'' имеет обратную частотную характеристику селективирующей системы зеркал и позволяет получить одномодовый режим генерации лазера при высоком уровне превышения подкачки над порогом.

Экспериментальная проверка была выполнена на лазере по схеме A'' . Пропускание зеркала 2 равнялось $T_2 = 0.5\%$; $T_1 \approx T_3 \approx T_4 = T_5 \approx 0.1\%$. Зеркало 5 было укреплено на пьезокерамике. Периметр внешнего резонатора равнялся ≈ 20 см. Для основного кольцевого резонатора, образованного системой зеркал 1, 2, 3, $c/L = 150$ Мгц. Эксперименты проводились в трехмодовом режиме генерации лазера и было получено последовательное исчезновение каждой из генерирующих мод при непрерывном измерении длины внешнего интерферометра.

Литература

- [3] D. A. Kleinman, P. P. Kisliuk. Bell. sys. tech. J., 41, 453, 1964.
 [2] P. W. Smith. IEEE of QE, 1, 343, 1965.
 [3] Ю. Д. Коломnikov, В. Н. Лисицын, В. П. Чеботаев. Опт. и спектр., 22, 828, 1967.
 [4] Ф. А. Королев. Теоретическая оптика. Изд. «Высшая школа», М., 1966.

Поступило в Редакцию 16 декабря 1969 г.