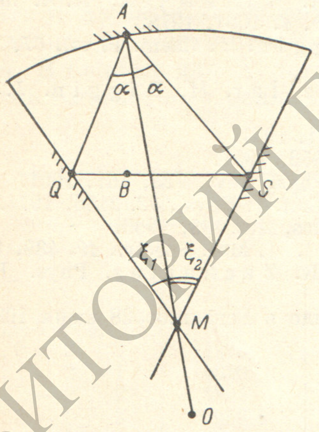
УДК 621.373 : 535

ИЗМЕНЕНИЕ ОСЕВОГО КОНТУРА КОЛЬЦЕВОГО РЕЗОНАТОРА ПРИ РАЗЪЮСТИРОВКЕ ЗЕРКАЛ

В. Ф. Бойцов и *А. Г. Владимиров*

Рассмотрен кольцевой оптический резонатор, состоящий из одного сферического и двух плоских зеркал. Получена связь величин, характеризующих разъюстированный резонатор, с параметрами разъюстировки зеркал. Эта связь позволяет построить осевой контур резонатора с разъюстированными зеркалами и средой, неоднородной в поперечном направлении.

1. Рассмотрим кольцевой оптический резонатор, сечение которого плоскостью осевого контура показано на рис. 1. Длина осевого контура $AQSA$ равна L. Разъюстировка состоит из поворота сферического зеркала на угол γ вокруг оси, проходящей через точку A и перпендикулярной плоскости рис. 1, из параллельного переноса сферического зеркала вдоль линии AO на расстояние δ', поворота плоского зеркала вокруг точки S на угол Γ и параллельного



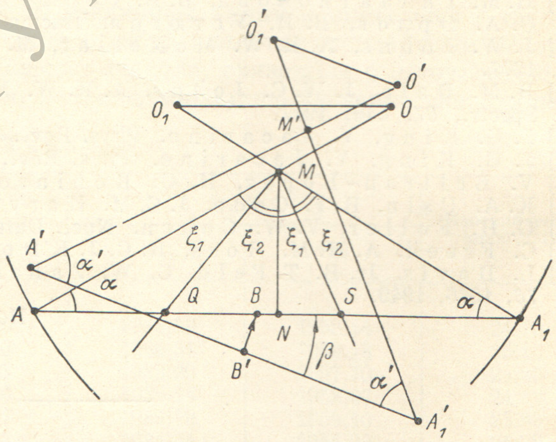


Рис. 1. Сечение кольцевого резонатора, состоящего из двух плоских и сферического зеркала с радиусом R и с центром кривизны в O.

Прямая AO, ортогональная сферическому зеркалу, проходит через точку M, в которой пересекаются плоские зеркала [1]. Точка B находится на расстоянии Z, отсчитываемом вдоль осевого контура против часовой стрелки от A. $\alpha+\xi_1+\xi_2=\pi/2$.

Рис. 2. «Развертка» осевого контура резонатора.

При разъюстировке центры кривизны сферических зеркал O и O_1 переходят в O' и O_1', а точка пересечения плоских зеркал M переходит в M'. A' и A_1' лежат на сферических зеркалах разъюстированного резонатора. $MN \perp AA_1'$, $R=|AO|=|A'O'|=|A_1O_1|=|A_1'O_1'|$, $|OO_1|=2R\cos\alpha-L=L(1+g)/(1-g)$, отрезок OO_1 параллелен AA_1 и $O'O_1'$ параллелен $A'A_1'$.

переноса этого зеркала относительно неразъюстированного положения на расстояние Δ'. Величины углов γ и Γ положительны, если вращения происходят против часовой стрелки. Смещения зеркал внутрь резонатора считаем отрицательными. Разъюстировки полагаем малыми: $\delta=\delta'/L\ll 1$, $\Delta=\Delta'/L\ll 1$, $\Gamma\ll 1$, $\gamma\ll 1$.

На рис. 2 линия $AQSA_1$ является «разверткой» осевого контура $AQSA$ резонатора, изображенного на рис. 1. $A'A'_1$ — «развертка» осевого контура после разъюстировки. Длину отрезка $A'A'_1$ обозначим L'. Точка B находится на расстоянии Z от A. Проекция B' точки B на $A'A'_1$ лежит на расстоянии Z' от A'. Разъюстированный резонатор описываем с помощью поворота его осевого контура на угол β, относительного изменения длины осевого контура на $\Delta L = (L'-L)/L'$ и с помощью величин $\Delta z = (Z'-Z)/L'$ и $x = |BB'|/L'$.

β и x могут описывать разъюстировку диафрагмы или усиливающей среды. Изменение осевого контура, вызванное разъюстировкой «квадратичной» в поперечном направлении среды, рассчитанное через β и x, содержится в работе [2].

Пусть Θ-вектор-столбец, компонентами которого являются параметры разъюстировки (γ, Γ, δ, Δ) и ε-вектор-столбец, состоящий из параметров разъюстированного резонатора (β, x, Δz, ΔL). Эти вектора в выбранном приближении связаны линейным соотношением $\varepsilon = D\Theta$, где D — матрица с элементами a_{ik} i, $k=1$, 2, 3, 4.

2. Рассмотрим разъюстировку сферического зеркала. При его сдвиге на δ' имеем $\alpha' = \alpha$ и $A'A'_1$ параллельно AA_1. Так как нет разъюстировки плоского зеркала, то точка M' совпадает с M (рис. 2). Поэтому $a_{13}=0$, $a_{23}=\sin\alpha$, $a_{33} = (1-2z)\cos\alpha$, $z = Z/L$. Длина «старого» осевого контура $L = 2\,|AM|\cos\alpha$, а «нового» $L' = 2\,|A'M|\cos\alpha$, откуда $a_{43} = 2\cos\alpha$.

При повороте сферического зеркала на угол γ точка O переходит в O', двигаясь по окружности радиуса R с центром в A. Аналогично перемещается O_1 переходя в O'_1. M' совпадает с M, $\alpha' = \alpha$. В выбранном приближении $|OO_1| = |O'O'_1|$ и длина осевого контура не меняется ($a_{41}=0$). Поскольку угол β равен углу между OO_1 и $O'O'_1$, то $a_{11} = -2/(1+g)$, $a_{21} = (1-2z)/(1+g)$, где $g = 1 - L/R\cos\alpha$. Сдвиг Δz получается умножением величины $x = a_{21}\gamma$, взятой при $z=0$, на $(-\operatorname{tg}\alpha)$. Поэтому $a_{31} = -\operatorname{tg}\alpha/(1+g)$.

3. Рассмотрим разъюстировку плоского зеркала, когда точка B находится до разъюстируемого зеркала ($Z < |AS| = Z_1$). При смещении зеркала на Δ' имеем $\alpha' = \alpha$, точка O' совпадает с O. O_1 переходит в O'_1, перемещаясь на величину $2\Delta'$ по направлению, перпендикулярному MS (под углом ξ_1 к линии OO_1). Поэтому $\beta = 2\Delta'\sin\xi_1/|OO'_1|$ и $a_{14} = 2(1-g)\sin\xi_1/(1+g)$, $\Delta L = (|OO_1| - |OO'_1|)/L'$ и $a_{44} = 2\cos\xi_1$. Наконец, $x = \beta z - \beta R\cos\alpha/L$ и $a_{24} = -((1-2z)(1-g)/(1+g)+1)\sin\xi_1$, $\Delta z = \beta R\sin\alpha/L$ и $a_{34} = 2(\operatorname{tg}\alpha\operatorname{tg}\xi_1/(1+g) - z)\cos\xi_1$.

При повороте плоского зеркала на угол Γ точка O' совпадает с O, O_1 переходит в O'_1, перемещаясь на угол 2Γ по окружности с центром в точке S. Угол ξ_2 остается постоянным, а ξ_1 переходит в $\xi_1 - \Gamma$, откуда $\alpha' = \alpha + \Gamma$. Точка A переходит в A', перемещаясь по сферическому зеркалу на расстояние $R(\beta - \Gamma)$. После вычислений имеем $a_{12} = (1-g)\operatorname{tg}\alpha\operatorname{tg}\xi_1/(1+g)+1$, $a_{42}=0$, $x = -R(\beta-\Gamma)\cos\alpha/L + \beta z$ и $a_{22} = -((1-2z)(1-g)/(1+g)+1)\operatorname{tg}\alpha\operatorname{tg}\xi_1/2 + z$, наконец, $\Delta z = R(\beta-\Gamma)\sin\alpha/L$ и $a_{32} = \operatorname{tg}^2\alpha\operatorname{tg}\xi_1/(1+g)$.

4. При разъюстировке плоского зеркала для случая $Z > Z_1$ матричные элементы a_{32}, a_{42}, a_{14}, a_{44} совпадают с приведенными в предыдущем разделе. Оставшиеся элементы, ответственные за разъюстировку плоского зеркала, получаются из элементов предыдущего раздела заменой $a_{12} \to a_{12} - 2$, $a_{22} \to a_{22} + \operatorname{tg}\alpha\operatorname{tg}\xi_1 + (1-2z)$, $a_{24} \to a_{24} + 2\sin\xi_1$, $a_{34} \to a_{34} + 2\cos\xi_1$.

5. Определитель матрицы D для случая $Z < Z_1$ равен $-2\sin\xi_2/(1+g)\cos^2\alpha$, а для случая $Z > Z_1$ — $2\cos(\alpha - \xi_1)/(1+g)\cos^2\alpha$. Его величина равна бесконечности, если $g = -1$. Это связано с тем, что положение осевого контура в концентрическом резонаторе не фиксировано.

С помощью очевидных замен в элементах матрицы D нетрудно получить параметры разъюстированного резонатора, если разъюстируется другое плоское зеркало.

Авторы глубоко благодарны Н. И. Калитеевскому за постоянную поддержку.

Литература

[1] K l e i n e Enzyklopädie. Mathematik. Gutachter Prof. Dr. Reichard. Leipzig, VEB Verlag Enzyklopädie, 1965.
[2] В. Ф. Бойцов. Опт. и спектр., *43*, 1006, 1977.

Поступило в Редакцию 3 ноября 1980 г.