

Список литературы

1. Рабинович Е., Белфорд Р. Спектроскопия и фотохимия соединений уранила.— М., 1968.
2. Володько Л. В., Комяк А. И., Умрейко Д. С. Ураниловые соединения.— Минск, 1981.— Т. 1.
3. Новицкий Г. Г., Комяк А. И., Умрейко Д. С. Ураниловые соединения.— Минск, 1981.— Т. 2.
4. Barclay G. A., Sabine T. M., Taylor J. C. // Acta Cryst.— 1965.— V. 19.— P. 205.
5. Taylor J. C., Mueller M. H. // Acta Cryst.— 1965.— V. 19.— P. 536.
6. Капшуков И. И., Волков Ю. Ф., Яковлев Г. Н., Москвичев Е. П., Лебедев А. Н.— ЖСХ.— 1971.— Т. 12.— С. 94.
7. Беленькая Е. Н., Кириллов С. А., Агулянский А. И.— Теоретич. и эксперимент. химия.— 1977.— Т. 13.— № 4.— С. 512.
8. Волков С. В., Яцимирский К. Б. Спектроскопия расплавленных солей.— Киев, 1977.
9. Волков С. В., Грищенко В. Ф., Делимирский Ю. К. Координационная химия солевых расплавов.— Киев, 1977.— С. 257.

Поступила в редакцию 14.05.85.

УДК 621.372.853

А. П. ХАПАЛЮК, Ю. А. ЛОГВИН

ОТКРЫТЫЙ РЕЗОНАТОР С ГАУССОВОЙ ДИАФРАГМОЙ

В простейших оптических резонаторах отражающими элементами служат сферические зеркала, которые корректируют только фазу падающего на них пучка [1]. Дифракция на краях зеркал небольших размеров приводит к корректировке пучка и по амплитуде, что можно учесть, если считать радиус кривизны зеркала комплексной величиной. В этом случае появляется возможность с помощью параболического уравнения изучать резонаторы как с фазовой, так и с амплитудной корректировкой луча [2—5].

В настоящей работе рассчитывается резонатор, первое зеркало которого имеет комплексный радиус кривизны $\rho = \rho_1 + i\rho_2$ (содержит гауссову диафрагму [1]). В паракиральном приближении коэффициент отражения зеркала определяется формулой

$$R_1(x) = R_{01} \exp(ikNx^2/\rho_1 + i\rho_2), \quad (1)$$

где ρ_1 учитывает фазовую, а ρ_2 — амплитудную корректировку пучка; R_{01} — постоянная часть коэффициента отражения; k — волновое число; $N = n + ix$ — комплексный показатель преломления среды, заполняющей резонатор. Второе зеркало предполагается плоским с постоянным коэффициентом отражения R_2 . Первое зеркало расположено при $z = 0$, второе — при $z = L$ (L — длина резонатора). Для выяснения принципиальной роли мнимой части радиуса кривизны ρ_2 достаточно ограничиться двумерным (z — продольная, x — поперечная декартовы координаты) случаем и рассмотреть основную (гауссову) моду.

Как обычно [1], поперечную компоненту электрического поля моды будем искать в виде суммы двух простых гауссовых пучков с противоположными направлениями распространения:

$$E^a(x, z) = \frac{A \exp(-ikNz)}{\sqrt{k n \omega_a^2 - i(z-a)}} e^{-\frac{kN}{2} \frac{x^2}{k n \omega_a^2 - i(z-a)}},$$

$$E^b(x, z) = \frac{B \exp(ikNz)}{\sqrt{k n \omega_b^2 + i(z-b)}} e^{-\frac{kN}{2} \frac{x^2}{k n \omega_b^2 + i(z-b)}}, \quad (2)$$

где амплитуды A и B , радиусы пучков в локусах (шейках) ω_a и ω_b , положение локусов a и b определяются из условий согласования пучков (граничных условий) на зеркалах.

$$E^a(x, 0) = R_1(x)E^b(x, 0), R_2E^a(x, L) = E^b(x, L). \quad (3)$$

Эти равенства должны выполняться тождественно относительно x . Поэтому, подставляя (1) и (2) в (3), необходимо в каждом из двух равенств по отдельности приравнять в экспонентах коэффициенты при x^2 :

$$\frac{1}{kn\omega_b^2 - ib} - \frac{1}{kn\omega_a^2 + ia} = \frac{2i}{\rho_1 + i\rho_2},$$

$$\frac{1}{kn\omega_b^2 + i(L-b)} - \frac{1}{kn\omega_a^2 - i(L-a)} = 0. \quad (4)$$

С учетом (4) в выражении (3) можно провести сокращение на общие множители, а оставшуюся часть записать в виде

$$A = BR_{01} \sqrt{\frac{kn\omega_a^2 + ia}{kn\omega_b^2 - ib}}, \quad AR_2 \sqrt{\frac{kn\omega_b^2 + i(L-b)}{kn\omega_a^2 - i(L-a)}} = Be^{2ikNL}. \quad (5)$$

Уравнения (4) не содержат искоемых амплитуд, и их можно решать независимо от системы (5). Относительно искоемых величин это несложные уравнения, и их решения можно записать в виде:

$$kn\omega_a^2 + ia - iL = kn\omega_b^2 - ib + iL = \sqrt{L[(\rho_1 - L) + i\rho_2]}, \quad (6)$$

при этом выбирается та ветвь корня, у которой действительная часть положительна, а знак мнимой совпадает со знаком мнимой части подкоренного выражения. Разделяя в (6) действительные и мнимые части, окончательно получаем формулы для определения параметров пучков через параметры резонатора:

$$kn\omega_a^2 = kn\omega_b^2 = \sqrt{\frac{L}{2}} \sqrt{V(\rho_1 - L)^2 + \rho_2^2} + (\rho_1 - L), \quad (7)$$

$$a - L = -(b - L) = \text{sgn } \rho_2 \sqrt{\frac{L}{2}} \sqrt{V(\rho_1 - L)^2 + \rho_2^2} - (\rho_1 - L).$$

Математическое условие разрешимости системы (5) относительно амплитуд A и B будет условием генерации

$$R_{01}R_2 \exp(-2ikNL) = \sqrt{\frac{V\rho_1 - L + i\rho_2 - iV\frac{L}{2}}{V\rho_1 - L + i\rho_2 + iV\frac{L}{2}}} = de^{i\delta}. \quad (8)$$

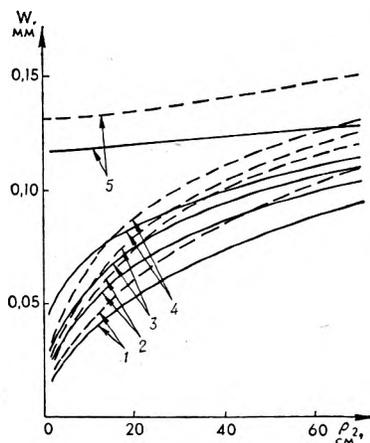


Рис. 1. Зависимость w_a от ρ_2 при $kn=1,4 \cdot 10^5 \text{ см}^{-1}$ для различных значений ρ_1 :

—50 (1); —10 (2), 0 (3), 10 (4), 50 (5) см; сплошные кривые — $L=10$ см, штриховые — $L=20$ см

Исследуем и физически интерпретируем полученные результаты.

В соответствии с физическим смыслом радиус пучка должен быть положительным числом. Это требование следует считать условием устойчивости резонатора [1]. В этом смысле при наличии амплитудной корректировки ($\rho_2 \neq 0$) резонатор всегда будет устойчивым даже при рассеивающей линзе ($\rho_1 < 0$). Неустойчивым резонатор оказывается при выполнении условий: $\rho_2 = 0$ и $\rho_1 < L$.

Из первой формулы в (7) видно, что радиус пучка не зависит от знака параметра ρ_2 . На рис. 1 показана зависимость радиуса пучка в локусе от параметра $|\rho_2|$ для различных значений ρ_1 и L . При малых значениях $|\rho_2|$ эта зависимость для фазово-устойчивых и фазово-неустойчивых резонаторов качественно различна. Для устойчивых резонаторов,

у которых $\rho_1 > L$, (кривые 5) при $|\rho_2| \rightarrow 0$ радиус пучка принимает некоторое значение, медленно и монотонно возрастающее при увеличении $|\rho_2|$. Для неустойчивых резонаторов, у которых $\rho_1 < L$, (остальные кривые) при $|\rho_2| \rightarrow 0$ радиусы пучков стремятся к нулю и, следовательно, резонаторы теряют устойчивость. При увеличении $|\rho_2|$ радиусы пучков для таких резонаторов вначале быстро возрастают, затем их рост замедляется.

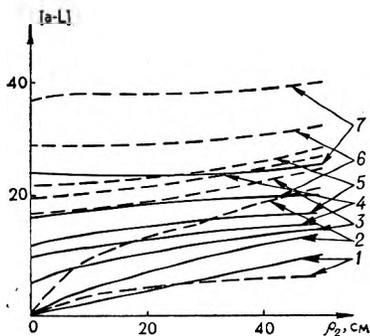


Рис. 2. Зависимость $|a-L|$ от ρ_2 для различных значений ρ_1 : —50 (1), —20 (2), —5 (3), 0 (4), 5 (5), 20 (6), 50 (7) см; сплошные кривые — $L=10$, штриховые — $L=20$ см

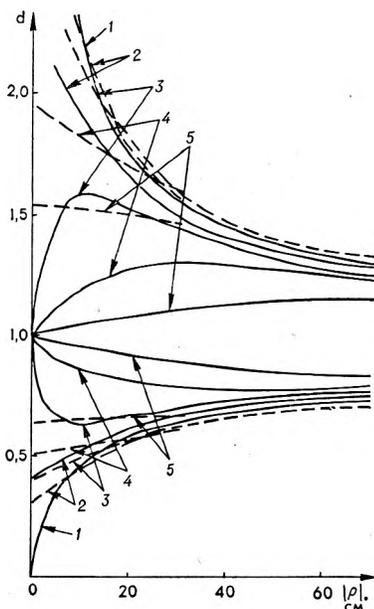


Рис. 3. Зависимость параметра d от $|\rho_2|$ для различных значений $|\rho_1|$:

0 (1); 5 (2), 10 (3), 20 (4), 50 (5) см. Сплошные кривые соответствуют положительным, штриховые — отрицательным значениям ρ_1 , для положительных ρ_2 кривые располагаются ниже прямой $d=1$, для отрицательных ρ_2 — выше

Положение локуса пучка определяется второй формулой в (7), и зависимость его от параметра ρ_2 можно проследить по рис. 2. При $\rho_2 > 0$ локус пучка, распространяющегося от гауссовой диафрагмы к плоскому зеркалу, всегда находится за пределами резонатора ($a > L$). При не слишком малом радиусе пучка в локусе выходящий из резонатора со стороны плоского зеркала пучок реально может иметь предельно малую расходимость. Другой пучок, распространяющийся по направлению к гауссовой диафрагме, имеет локус внутри резонатора при $4L\rho_1 < \rho_2^2$ и вне резонатора при $4L\rho_1 > \rho_2^2$. В последнем случае выходящий со стороны диафрагмы пучок также может иметь малую расходимость. При $\rho_2 < 0$ положения локусов в пучках меняются местами, предельно минимальная расходимость будет у пучка, выходящего из резонатора со стороны диафрагмы.

Изменение порога генерации определяется модулем правой части равенства (8), т. е. параметром d , зависимость которого от ρ_2 представлена на рис. 3. Для фазово-устойчивых резонаторов ($\rho_2 = 0$) $d = 1$, и, следовательно, порог их генерации не зависит от радиуса кривизны сферического зеркала. На рис. 3 все кривые для таких резонаторов начинаются с единицы, и их изменение с ростом $|\rho_2|$ немонотонно; они имеют экстремальные точки. Кривые, которые начинаются не с единицы, соответствуют неустойчивым резонаторам, у которых $\rho_1 < L$ [2—4]. Для них слишком малое значение $|\rho_2|$ следует считать нереальным (неустойчивым) случаем, и формально d в этой области может принимать произвольное значение. С увеличением $|\rho_2|$ параметр довольно быстро принимает значение, сравнимое с единицей. Причем для $\rho_2 > 0$ оно всегда меньше, при $\rho_2 < 0$ — всегда больше единицы. В первом случае порог

генерации уменьшается, во втором — увеличивается. В типичных ситуациях, когда параметр d сравним с единицей, дифракционные потери энергии моды невелики и практически легко могут быть скомпенсированы за счет усиления активной среды, а также и за счет постоянных множителей коэффициентов отражения зеркал.

Собственный спектр резонатора с диафрагмой существенно не изменяется; он в целом сдвигается по шкале частот. Величина сдвига зависит от всех параметров резонатора и детально изучать его не будем.

Список литературы

1. Бельский А. М., Корнейчик Т. М., Хапалюк А. П. Пространственная структура лазерного излучения.— Минск, 1982.
2. Ананьев Ю. А. Оптические резонаторы и проблема расходимости лазерного излучения.— М., 1979.
3. Siegman A. E. // IEEE.— 1965.— V. 53.— P. 277.
4. Звельто О. Принципы лазеров.— М., 1984.
5. Zucker H. // J. Bell. Syst. Tech.— 1970.— V. 49.— P. 2349.

Поступила в редакцию 03.06.85.

УДК 681.327.22

А. С. ЛОБКО, О. В. МИСЕВИЧ

ГРАФИЧЕСКАЯ ПРИСТАВКА К АЛФАВИТНО-ЦИФРОВОМУ ДИСПЛЕЮ

При решении задач автоматизации физического эксперимента часто возникает необходимость в оперативном визуальном контроле графической информации: графиков функций, спектров, статистических распределений и т. п. Отображение такой информации на экране алфавитно-цифрового дисплея, являющегося терминалом управляющей э. в. м., позволяет отказаться от применения графических дисплеев и других специализированных видео-контрольных устройств. Чтобы снизить нагрузку э. в. м., целесообразно для регенерации графического изображения применять буферное запоминающее устройство (БЗУ). Однако при кодировании графической информации по известной системе «бит — точка» емкость БЗУ должна быть достаточно большой, что приводит к увеличению времени его заполнения и объема вспомогательной логики (см., например, В. Д. Бахмацкий и др. Графическая приставка к растровому знаковому дисплею // ПТЭ.— 1984.— № 2.— С. 53). В большинстве

физических приложений достаточно отображать некоторые зависимости, представляющие собой однозначные функции аргумента, в виде графиков или гистограмм. Для их кодирования можно записывать в БЗУ только ординаты точек графика.

Нами разработана графическая приставка к алфавитно-цифровому дисплею 15ИЭ00-013, в которой минимизированы аппаратные и программные затраты. Устройство позволяет выводить на экран два графика однозначных функций в поле форматом 512×256 точек, ограниченное координатами

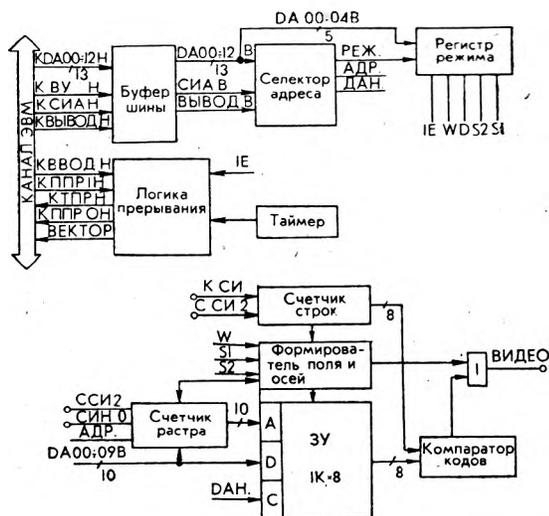


Рис. 1. Блок-схема устройства