

5. I. B. Keller, Symposium on Turbulence of Fluids and Plasmas, Polytechnic Institute of Brookline, April 16-18, 1968.  
 6. В. И. Татарский, Распространение волн в турбулентной атмосфере, изд. Наука, М., 1967.

Радиотехнический институт  
АН СССР

Поступила в редакцию  
30 марта 1972 г.

УДК 621.378.325

## ИМПУЛЬСНАЯ МОДУЛЯЦИЯ ЛАЗЕРА ПРИ ПЕРЕСТРОЙКЕ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ПАСИВНОГО РЕЗОНАТОРА С ПОМОЩЬЮ УЛЬТРАЗВУКА

С. В. Гапонов, Л. В. Парамонов

Один из способов внутренней модуляции газовых ОКГ заключается в замене одного из зеркал резонатора интерферометром Фабри—Перо с меняющейся во времени оптической длиной [1, 2]. О реализации подобного способа сообщалось в работах [3, 4], причем изменение оптической длины интерферометра достигалось с помощью электрооптического эффекта в кристаллах КДР. При небольших управляющих напряжениях наблюдалась глубокая синусоидальная модуляция. В настоящей работе для тех же целей использован эффект фотоупругости.

Оптическая схема эксперимента приведена на рис. 1. Резонатор ОКГ состоит из двух связанных интерферометров—активного и пассивного. Активный резонатор, образованный сферическим зеркалом 2 ( $r = 1200$  мм) с коэффициентом отражения  $\sim 98\%$

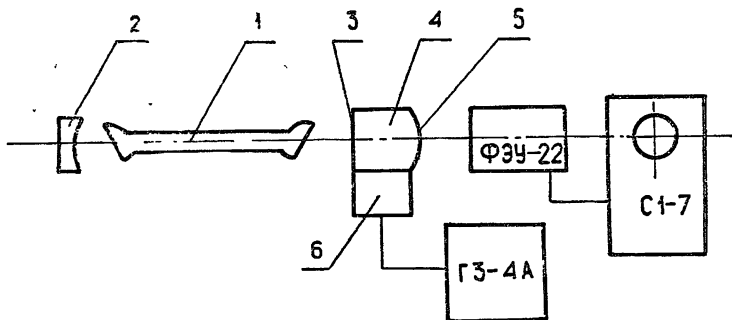


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:  
 1—газоразрядная трубка; 2—сферическое зеркало ( $r=1200$  мм,  $R=98\%$ ); 3,5—зеркала пассивного резонатора ( $R=98\%$ ); 4—кварцевый блок; 6—пьезоэлектрический излучатель.

и плоским зеркалом 3, имеет длину 800 мм. В нем размещена газоразрядная трубка 1, заполненная смесью газов He и Ne. Длина трубки 420 мм. Пассивный резонатор изготовлен в виде блока из плавленого кварца, на две противоположные грани которого напылены зеркала 3 и 5. Размер блока в направлении оптической оси равен 41 мм. Грань 5 сделана сферической, причем радиус кривизны выбран из условия согласования волновых фронтов аксиальных мод активного и пассивного резонаторов [3] и равен 2500 мм. К нижней части блока прикреплен пьезоэлектрический излучатель 6, возбуждающий в кварце резонансную ультразвуковую волну с частотой 45,8 кГц, пучность давления которой совпадает с положением оптического пучка, а направление напряжений — с поляризацией. Излучение ОКГ на длине волны 0,63 мкм регистрировалось со стороны кварцевого блока с помощью ФЭУ-22 и осциллографа С1-7.

На рис. 2 схематически изображены аксиальные моды активного и пассивного резонаторов. Частотный интервал между модами первого из них составляет  $1,88 \cdot 10^8$  гц. В полосе усиления активного вещества (на рисунке указана пунктиром) одновременно попадают 4 моды. В активном резонаторе мог возбуждаться только основной тип

колебаний. Интервал между модами пассивного резонатора равен  $2,51 \cdot 10^9$  гц. Максимальный коэффициент отражения от пассивного резонатора по расчету равен 99,98% [7].

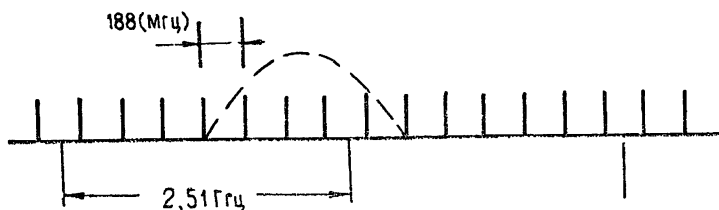


Рис. 2. Аксиальные моды активного и пассивного резонаторов.

При подаче напряжения на пьезодатчик в кварцевом блоке устанавливается стоячая ультразвуковая волна, что приводит к периодическому изменению давления в кварце и, следовательно, к изменению показателя преломления. Поскольку ширина светового пучка ОКГ много меньше длины ультразвуковой волны, происходит периодическое изменение оптической длины кварцевого резонатора, не сопровождающееся колебаниями дифракционных потерь. При этом собственные частоты пассивного резонатора сканируются вдоль спектра мод активного резонатора. Моды активного резонатора, частоты которых отличаются от собственных частот пассивного резонатора, высокочастотны. На тех из них, которые находятся в полосе усиления рабочего вещества, имеет место генерация. При совпадении собственных частот обоих резонаторов в процессе сканирования отражение от пассивного резонатора резко падает, генерация на соответствующей моде срывается, а запасенная в активном резонаторе энергия моды высвечивается в виде импульса. Его длительность определяется временем установления колебаний в пассивном резонаторе и длиной активного резонатора. Коэффициенту отражения зеркал пассивного резонатора, равному 98%, отвечает время установления колебаний в нем  $5 \cdot 10^{-8}$  сек. Измерения показали, что такая длительность наблюдается и в эксперименте.

При длинах тех резонаторов, которые применялись в эксперименте, излучение представляет собой последовательность пачек импульсов. Амплитуда импульсов изменяется в соответствии с контуром линии усиления активного вещества. Состав пачек зависит от начального положения собственных мод пассивного резонатора относительно линии усиления активного вещества и амплитуды управляющего напряжения. Импульсы следуют через неравные интервалы времени, так как изменение давления в пучности звуковой волны и, следовательно, модуляция длины оптического пути происходят по синусоиде. Средней частотой следования импульсов можно управлять, изменяя амплитуду напряжения на пьезоэлектрическом излучателе. При напряжениях, обеспечивающих изменение оптического пути в пассивном резонаторе на длину волны излучения, средняя частота определяется соотношением

$$f_{\text{ср}} = 4 N f_3,$$

где  $N$  — число аксиальных мод, возбужденных в активном резонаторе,  $f_3$  — частота ультразвука.

Большая добротность акустического резонатора позволяет получать высокую среднюю частоту следования при малых управляющих напряжениях. В эксперименте были получены частоты следования до 5 Мгц при амплитуде управляющего напряжения 20 в. Мощность в импульсе приблизительно равнялась средней мощности непрерывного излучения, возникающего при замене пассивного резонатора выходным зеркалом. Следует заметить, что глубина модуляции не достигает 100%. Часть энергии мод, частоты которых не совпадают с частотами пассивного резонатора, излучается, образуя постоянный фон. В нашем эксперименте постоянный фон был  $\sim 6 \cdot 10^{-2}$  % мощности импульса.

В заключение авторы благодарят Я. И. Ханина за ценные обсуждения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Е. Р. Мустель, В. Н. Парыгин, Методы модуляции и сканирования света, изд. Наука, М., 1970.
2. Г. П. Каток, Н. В. Кравцов, Л. Е. Чирков, С. И. Коновалов, Модуляция и отклонение оптического излучения, изд. Наука, М., 1967.
3. Р. А. Казарян, В. С. Аракелян, С. П. Сидорова, Радиотехника и электроника, 12, № 7, 1294 (1967).

4. В. Р. Заславская, Оптика и спектроскопия, 28, № 1, 93 (1970).  
 5. Г. Когельник, Т. Ли, Труды Института инженеров по электронике и радиоэлектронике (ТИИЭР), 54, № 10, 95 (1966).

Поступила в редакцию  
7 января 1972 г.

УДК 621.373

## ДИСПЕРСИЯ ФАЗОВЫХ ФЛУКТУАЦИЙ ВЗАИМНО СИНХРОНИЗОВАННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ, СВЯЗАННЫХ ЧЕРЕЗ СОПРОТИВЛЕНИЯ

В. И. Канавец, А. Ю. Стабинс

Как следует из общего рассмотрения взаимной синхронизации генераторов при наличии шумов, существуют оптимальные связи, приводящие к сужению спектральной линии колебания [1, 2]. Покажем, что такие оптимальные условия реализуются в системе генераторов, связанных через сопротивления. Будем считать, что генераторы находятся под воздействием естественных шумов. Рассмотрим систему  $N$  связанных одинаковых генераторов, построенных по схеме параллельного контура. Обобщенная эквивалентная схема показана на рис. 1, где  $G_n$  — нелинейная проводимость;

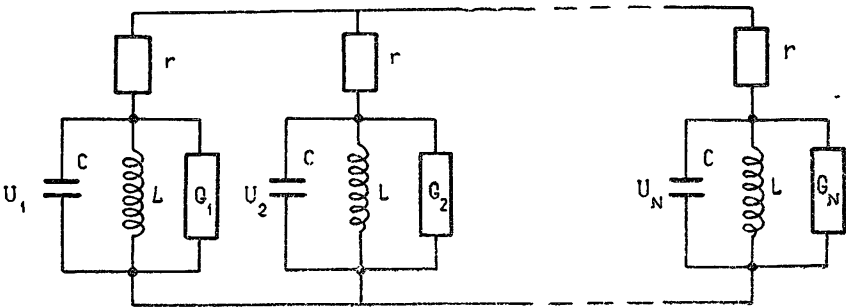


Рис. 1.

$G_n = G^{(n)} + G^{(нл)} U_n^2$ ,  $r$  — сопротивление связи;  $U_n$  — напряжение на отдельном генераторе. Работа автогенераторов описывается системой уравнений.

$$\ddot{U}_n + \alpha_0 \dot{U}_n + \alpha_2 U_n^2 \dot{U}_n + \omega_0^2 U_n = \frac{\alpha_c}{N} \sum_{\substack{m=1 \\ (m \neq n)}}^N \dot{U}_m + \omega_0^2 E_n(t), \quad (1)$$

где  $\alpha_0 = \frac{G^{(n)}}{C}$ ,  $\alpha_2 = \frac{3G^{(нл)}}{C}$ ,  $\alpha_c = \frac{1}{Cr}$ ,  $\omega_0^2 = \frac{1}{LC}$ ,  $E_n(t)$  — «белый шум», действующий на  $n$ -й генератор,  $n = 1, 2, 3, \dots, N$ .

Найдем стационарный режим работы без учета шумов. Предположим, что имеет место синфазный режим работы на частоте  $\omega_0$ . Решение ищем в виде  $U_n = a_n \cos(\omega_0 t + \varphi_n)$ , где  $a_n$  и  $\varphi_n$  — величины, медленно меняющиеся за период колебания, если  $|a_0| \ll \omega_0$ ,  $|a_2| a_n^2 \ll \omega_0$ ,  $\alpha_c \ll \omega_0$ ,  $|E_n| \ll a_n$ . Получим следующие укороченные уравнения:

$$\dot{a}_n = -\frac{\alpha_0}{2} a_n \left( 1 + \frac{\alpha_2}{4\alpha_0} a_n^2 \right) + \frac{\alpha_c}{2N} \sum_{m \neq n} a_m \cos(\varphi_m - \varphi_n), \quad (2)$$

$$\dot{\varphi}_n = \frac{\alpha_c}{2a_n N} \sum_m a_m \sin(\varphi_m - \varphi_n),$$