

В. Н. ПАРЫГИН, Х. ГАССАБ, И. П. СМАГИН

## ГЕНЕРАТОР С ОПТИЧЕСКОЙ ЗАДЕРЖКОЙ В ЦЕПИ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ

Проводится экспериментальное исследование генератора с оптической линией задержки в цепи обратной связи. Изучены амплитудные и частотные характеристики генератора при различной длине оптической линии задержки. Показана возможность использования такого генератора для целей измерения расстояний.

В настоящее время оптические квантовые генераторы нашли широкое применение в различных областях современной физики и техники. Высокая когерентность лазерного излучения, узкая направленность и высокая частота позволяют решать специфические задачи. Одной из них является создание генератора с оптической линией задержки в цепи обратной связи.

Ранее исследовались автоколебательные системы с различного рода неоптическими линиями задержки и, в частности, с акустическими линиями [1]. Сообщение о генераторе с оптической линией задержки впервые появилось в 1969 г. [2]. Это было краткое сообщение, описывающее принцип действия генератора и некоторые результаты измерения его частоты.

Настоящая работа посвящена подробному экспериментальному исследованию генератора с оптической задержкой в цепи обратной связи. Принцип действия этого генератора следующий.

Лазерный луч, прошедший через модулятор света и определенное расстояние  $L$ , попадает на фотоприемник, сигнал с которого после усилителя подается на модулятор. В такой системе возникают колебания, частота которых в электрической части цепи определяется длиной оптического пути, пройденного светом от модулятора до фотоприемника. Это обстоятельство дает возможность определять длину пути, пройденного светом, по частоте возникших автоколебаний или наоборот по заранее известной длине пути измерять групповую скорость света и исследовать ряд других эффектов, с которыми эта скорость связана.

Блок-схема генератора изображена на рис. 1. В качестве источника света 1 использовался He—Ne-лазер с длиной волны 6328 Å типа ЛГ-75. Нелинейным элементом схемы являлся электрооптический модулятор 2 (модуляционная характеристика его показана на рис. 2 (1)). Модулятор описывается формулой

$$I = I_0 \sin^2 \frac{\pi U}{2U_{\lambda/2}},$$

где  $I_0$  — интенсивность света, падающего на модулятор,  $U_{\lambda/2}$  — полуволновое напряжение,  $U$  — напряжение на модуляторе.

Постоянное напряжение  $U_0$  позволяет выбрать режим работы модулятора. При переходе рабочей точки модулятора с возрастающе-

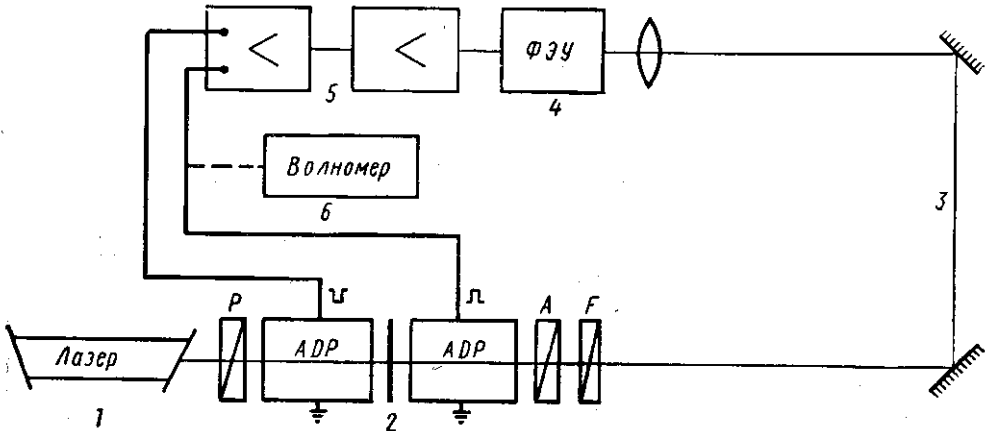


Рис. 1. Блок-схема генератора с оптической линией задержки в цепи обратной связи

го участка характеристики на спадающий выходной сигнал изменяет фазу на  $\pi$ .

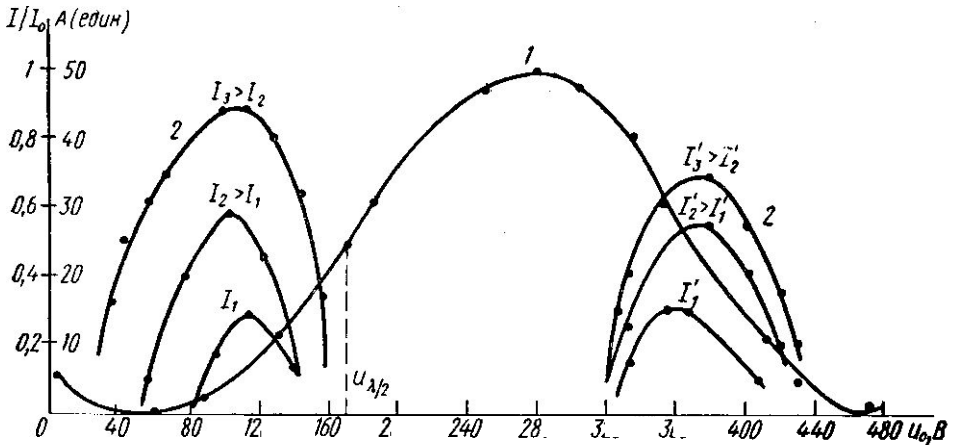


Рис. 2. 1 — статическая характеристика модулятора, 2 — зависимость амплитуды генерации от положения рабочей точки на модуляционной характеристике модулятора при нескольких значениях интенсивности света  $I_0$

Конструкция модулятора, представляющего собой систему из двух идентичных кристаллов АDP, позволяла осуществить компенсацию двулучепреломления и температурных уходов показателей преломления [3, 4]. На выходе модулятора ставился дополнительный поляризатор  $F$ , позволяющий плавно регулировать интенсивность света. Опти-

ческая линия задержки (3) состояла из набора призм и зеркал, позволяющих в условиях лаборатории изменять расстояние от модулятора до фотодетектора от 0 до 43 м. В качестве фотодетектора (4) использовался фотоэлектронный умножитель типа ФЭУ-27. Сигнал, полученный на выходе ФЭУ, усиливался предварительным усилителем УЗ-7А и затем парафазным усилителем типа УР-4 (5). Измерение генерируемой частоты осуществлялось волномером.

В случае одночастотной генерации при работе на возрастающем склоне модуляционной характеристики в генераторе возбуждаются колебания с частотой, удовлетворяющей условию

$$\omega_1 = \frac{2n_1\pi}{\tau}, \quad (1)$$

где  $n_1=1, 2, 3, \dots$  — номер генерируемой моды колебаний, а при работе на спадающем склоне с частотой

$$\omega_2 = \frac{(2n_2-1)\pi}{\tau}, \quad (2)$$

где  $n_2=1, 2, 3, \dots$

Параметр  $\tau$  характеризует полную задержку системы как электрическую  $\tau_{эл}$ , так и оптическую  $\tau_{оп}$  в цепи обратной связи. Выражения (1) и (2) были получены без учета дисперсии. Это можно сделать при условии  $\tau_{оп} \gg \tau_{эл}$ , так как основным источником дисперсии является электрическая цепь.

Амплитуда установившегося колебания с частотой  $\omega_1$  или  $\omega_2$  прямо пропорциональна коэффициенту преобразования ФЭУ  $\alpha$ , коэффициенту усиления усилителя  $\beta$ , интенсивности света  $I_0$ , обратной величине полуволнового напряжения кристалла  $1/U_{\lambda/2}$  и синусоидально зависит от выбора рабочей точки на модуляционной характеристике:

$$z = k \left| \sin \frac{\pi U_0}{U_{\lambda/2}} \right| J_1(z), \quad (3)$$

где  $k = \frac{\pi\alpha\beta I_0}{U_{\lambda/2}}$ ,  $J_1(z)$  — функция Бесселя первого порядка. При этом условием возникновения колебаний является

$$k \left| \sin \frac{\pi U_0}{U_{\lambda/2}} \right| > 2. \quad (4)$$

Экспериментально при оптической задержке порядка 4 м наблюдалась генерация на спадающем склоне модуляционной характеристики основной моды колебаний  $n_2=1$  с частотой 2,02 МГц, а на растущем склоне  $n_1=1$  — с частотой 4 МГц. Неточная кратность частот  $\omega_1$  и  $\omega_2$  свидетельствует о наличии дисперсии в системе. Электрическая задержка в схеме была сравнима с оптической задержкой.

При достаточно больших коэффициентах усиления в системе наблюдалась паразитная низкочастотная генерация, связанная с возбуждением системы на пьезорезонансных частотах кристаллов. Для того чтобы полностью избавиться от паразитных колебаний, в систему между усилителями УЗ-7А и УР-4 включался фильтр верхних частот. Максимальное усиление в такой системе соответствовало частоте 8 МГц.

На рис. 3 представлена зависимость частоты генерации в схеме с фильтром от длины оптического пути света для линейных участков обоих склонов модуляционной характеристики. Видно, что с ростом  $L$

в системе последовательно возбуждаются различные моды колебаний, частоты которых периодически повторяются и соответствуют области максимального коэффициента усиления.

Кривая 1 соответствует работе на спадающем участке модуляционной характеристики, кривая 2 — на возрастающем склоне.

Заметим, что в области  $L$  от 14 до 26 м возможна генерация как колебаний с  $n_1=1$ , так и колебаний с  $n_1=2$ . Какая же из двух воз-

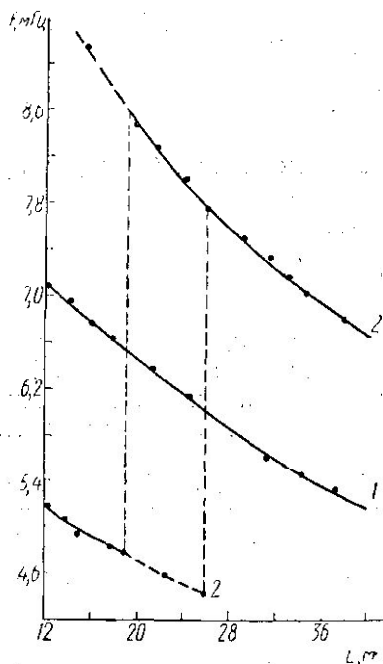


Рис. 3. Зависимость частоты генерации от длины оптической линии задержки в цепи обратной связи

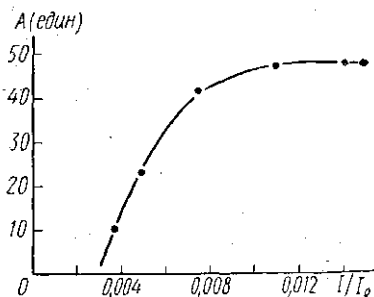


Рис. 4. Зависимость амплитуды колебаний генератора от интенсивности света  $I_0$  при работе на середине линейного участка модуляционной характеристики

можных частот возбуждалась в системе, зависело от начальных условий. Прерывая на короткое время световой поток, удавалось возбудить то одну, то другую частоту.

Проводилось также экспериментальное исследование амплитудных характеристик генератора с оптической линией задержки. Исследование показало, что на линейном участке модуляционной характеристики наблюдается мягкое возбуждение колебаний в системе при увеличении общего коэффициента усиления за счет повышения интенсивности света  $I_0$ . Наименьший коэффициент усиления для самовозбуждения требуется в случае работы системы на середине линейного участка модуляционной кривой. По мере отхода от середины линейного участка для самовозбуждения требуются все большие интенсивности света (4).

На рис. 4 приведена зависимость амплитуды колебаний генератора при работе на середине линейного участка модуляционной характеристики от  $I_0$ . При малых  $I_0$  наблюдается линейный рост амплитуды, а затем наступает насыщение в соответствии с (3).

На рис. 2 (2) приведена зависимость амплитуды генерации от положения рабочей точки на модуляционной характеристике модулятора при нескольких значениях интенсивности света  $I_0$ . Из рисунка видно, что в соответствии с (3) при заданном значении коэффициента усиления максимальная амплитуда колебаний достигается на середине

линейного участка характеристики. По мере уменьшения коэффициента усиления область существования колебаний уменьшается, сжимаясь к точке, находящейся на середине линейного участка модуляционной характеристики.

Эксперименты показали, что изменение амплитуды колебаний генератора как с изменением интенсивности света  $I_0$ , так и с изменением положения рабочей точки на характеристике модулятора сопровождается изменением частоты генерации. Сдвиг частоты связан, по-видимому, с изменением времени задержки сигнала в ФЭУ при изменении амплитуды сигнала.

В заключение хочется остановиться подробнее на возможном использовании генератора с оптической задержкой в цепи обратной связи в качестве светодальномера.

Как уже отмечалось, частота колебаний, возбуждающихся в генераторе, зависит от длины оптической линии, что в принципе позволяет создать систему для измерения длины. Однако в описанном выше генераторе с полосовым фильтром, позволяющем избавиться от генерации паразитных пьезорезонансных колебаний, возникают трудности с определением номера  $n$  генерируемой моды. Поскольку частоты генерации периодически повторяются при увеличении длины оптической линии задержки, знания частоты недостаточно для однозначного определения искомой длины  $L$ .

Получившуюся неоднозначность можно устранить, если взять разность частот, которые система генерирует при данной длине на двух склонах модуляционной характеристики. Эта разность частот не зависит от номера моды, а только от величины задержки в цепи обратной связи  $\Delta f = |f_2 - f_1| = \frac{1}{2\tau}$ .

Следовательно, время задержки в системе может быть определено по разности частот:

$$\tau_{\text{эл}} + \tau_{\text{оп}} = \frac{1}{2|f_2 - f_1|},$$

откуда по известной задержке в электрической цепи легко определяется искомая длина

$$L = \left\{ \frac{1}{2|f_2 - f_1|} - \tau_{\text{эл}} \right\} C,$$

где  $C$  — скорость света.

Точность измерения расстояния описанным выше методом была не выше  $10^{-2}$ . Это связано в основном с недостаточно высокой стабильностью электрической части времени задержки. На время задержки ФЭУ влияет стабильность напряжения источника его питания и амплитуда сигнала, на задержки усилителей — тепловые уходы их параметров и т. д.

Неоднозначность определения целого числа полуволн в измеряемом расстоянии вообще характерна для высокоточных фазовых светодальномеров [5]. Для разрешения этой неоднозначности необходимы дальномеры меньшей точности, но однозначно определяющие расстояние. Именно для такой цели и может быть использован генератор с оптической линией задержки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бовшеверов В. М. ЖТФ, 6, 1480, 1936.
2. Fujioka T., Uchiyama T., Kobayashi. «IEEE, Quan. Electr.», No. 5, 1969.
3. Мустель Е. Р., Парыгин В. Н. Методы модуляции и сканирования света. М., 1970.
4. Doge M. «IEEE, Quan. Electr.», No. 11, 1967.
5. Мовсесян Р. А., Парыгин В. Н. «Геодезия и картография», № 3, 14, 1973.

Поступила в редакцию  
22.3 1974 г.

Кафедра  
физики колебаний