

муаровой помехи аналитически описывается следующим выражением:

$$0,0055 \left( \frac{1}{t_p + \Delta - v_{x \max}} \right) \geq b. \quad (3)$$

Подставляя в соотношение (3) выражения (1) и (2) и принимая, что  $\Delta = kt_p$ , получим

$$0,0055 \frac{1+k}{F_{\max} T_{\text{стр}} (1-\alpha)(1-k)} \geq 1. \quad (4)$$

Произведем расчет величины  $k$  по соотношению (4). При  $F_{\max} = \sqrt{2} \times 6 \text{ МГц}$ ,  $T_{\text{стр}} = 64 \text{ мкс}$ ,  $\alpha = 0,18$  из соотношения (4) следует, что  $k \approx 1$ . Таким образом, при увеличении шага оптического раstra практически в 2 раза относительно величины, определенной по соотношению (2), муаровая помеха, возникающая из-за дискретизации изображений отдельных ракурсов стереозэкраном, не будет замечаться зрителями.

При  $v_{x \max} < \frac{1}{2(t_p - \Delta)}$  в общем случае зрителями будет замечаться дискретность изображений отдельных ракурсов в плоскости стереозэкрана. Согласно [4], допускается, чтобы шаг оптических растров был в 2—3 раза меньше рассчитанного по соотношению (2).

#### Выводы

1. Выбор величины шага оптического раstra должен производиться в соответствии со значением максимальной пространственной частоты каждого ракурса в горизонтальном направлении телевизионного раstra.
2. Разброс шага оптических растров допускается в пределах  $\pm 100\%$ , при этом муаровая помеха будет практически незаметной для зрителей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Н. К. Игнатъев. Оптимальная дискретизация двумерных сообщений.— «Изв. высш. учеб. заведений. Радиотехника», 1961, № 6.
2. В. Г. Фролушкин. Апертурно-частотные характеристики сложных систем развертки изображения.— «Вопросы радиоэлектроники. Сер. Техника проводной связи», 1969, вып. 2.
3. Е. Л. Орловский и др. Теоретические основы электрической передачи изображений. М., «Сов. радио», 1962.
4. О. Ф. Гребенников. Применение некоторых положений теории дискретизации к растровым фотографирующим системам.— «Труды Ленинградского ин-та киноинженеров», 1973, вып. 20.

Поступило в редакцию 8 октября 1974 г;  
окончательный вариант — 29 октября 1974 г.

УДК 621.375.826

В. П. БЕССМЕЛЬЦЕВ, В. В. ВОРОБЬЕВ, В. А. ХАНОВ  
(Новосибирск)

#### СТАБИЛИЗАЦИЯ РАЗНОСТНОЙ ЧАСТОТЫ ДВУХЧАСТОТНОГО ЛАЗЕРА

Использование двухчастотного лазера в устройствах для измерения угла поворота [1] приводит к необходимости стабилизации значения разности частот двух компонентов его излучения.

Ниже описывается устройство для стабилизации разностной частоты гелий-неонового лазера с внутренними зеркалами, помещенного в аксиальное магнитное поле.

В магнитном поле линия усиления гелий-неонового лазера расщепляется на два симметричных зеемановских компонента. Вследствие эффектов затягивания лазер генерирует две волны с ортогональными круговыми поляризациями и с различными частотами  $f_1$  и  $f_2$ . Величина разности этих частот  $f_p = f_1 - f_2$  определяется как параметрами лазера (усилением активной среды, добротностью резонатора, отклонением частоты ге-

нерации от центра атомной линии), так и величиной магнитного поля. Поддержание всех этих параметров постоянными не представляется возможным, поэтому был выбран путь компенсации действия дестабилизирующих факторов изменением положения частоты генерации относительно центра атомной линии. Это изменение в описываемом устройстве осуществляется перестройкой длины резонатора с помощью пьезокерамического элемента, на котором укреплено одно из зеркал резонатора. Экспериментальная зависимость разностной частоты излучения лазера  $f_p$  от изменения напряжения на пьезокерамике при различных магнитных полях представлена на рис. 1. При стабилизации  $f_p$  величина магнитного поля выбиралась такой, чтобы стабилизируемое значение разностной частоты находилось на линейном участке регулировочной кривой рис. 1.

На рис. 2 представлена функциональная схема системы фазовой автоподстройки разностной частоты, содержащей лазер 1, одно из зеркал которого установлено на пьезокерамике 2, поляризатор 3, фотоприемник (ФП), задающий кварцевый генератор (Г), фазовый детектор (ФД) и усилитель постоянного тока (УПТ). Схема работает следующим образом. Поляризатор 3 преобразует излучение лазера в линейно-поляризованное и модулированное по амплитуде с разностной частотой  $f_p$ . Сигнал с выхода ФП подается на вход ФД, к другому входу которого подключен Г. Фазовый детектор вырабатывает сигнал ошибки, пропорциональный разности фаз сигналов с выходов фотоприемника и задающего генератора. Сигнал ошибки усиливается УПТ и подается на пьезокерамику 2, изменяющую длину резонатора лазера.

Поскольку не удалось получить надежного режима захвата с помощью обычных фазовых детекторов, измеряющих сдвиг фаз в пределах  $2\pi$ , был выбран фазовый детектор, состоящий из схемы вычитания частот (СВ), реверсивного счетчика (РС) и цифроаналогового преобразователя (ЦАП). Схема вычитания частот (рис. 3) состоит из блока исключения совпадающих импульсов (БИС) и блока исключения чередующихся импульсов (БИЧ). Аналогичные схемы рассмотрены в [2, 3], но в [2] описаны лишь общие принципы построения схем вычитания частот, а в [3] используется более сложный БИС. Поэтому подробнее остановимся на работе СВ. Формирователи, собранные на элементах Э1, Э2 и Э3, Э4, формируют из выходных сигналов импульсы с длительностью, определяемой постоянной времени  $\tau = RC$ . Пройдя через инверторы Э5 и Э6, сформированные импульсы поступают на схему совпадения Э7, а пройдя через инверторы Э8 и Э10, — на входы формирователей Э9 и Э11. За счет того что формирователи Э9 и Э11 срабатывают от положительного фронта, передние фронты их выходных импульсов будут задержаны по отношению к импульсам с выходов формирователей Э1, Э2 и Э3, Э4 на длительность выходных импульсов этих формирователей (т. е. на  $\tau = RC$ ). Это необходимо для того, чтобы в случае частичного совпадения импульсов на входах Э7 не могли сформироваться импульсы на выходах формирователей Э9 и Э11. При частичном перекрытии импульсов на входах Э7 запускается формирователь Э12, Э13, запрещающий срабатывание формирователей Э9, Э11. Таким образом, на БИЧ совпадающие импульсы не проходят. Схема БИЧ содержит два триггера Э14, Э15 и Э20, Э21, логические схемы И-НЕ Э16, Э17, Э22, Э23 и инверторы Э18, Э19 и выполнена в виде двух каналов, причем в каждом канале установлены ключевые элементы Э22, Э23, управляемые сигналом с другого канала. Выходные импульсы БИС управляют триггер Э14. Э15 в определенное состояние. После окончания входного импульса в это же состояние с помощью схем Э16, Э17 устанавливается триггер Э20, Э21, который управляет Э22, Э23 таким образом, что импульсы, поступающие поочередно на каждый вход, на выход БИЧ не проходят. В качестве элементной базы БИС, БИЧ и РС использовались микросхемы серии 133 «Логика-2».

Экспериментальная проверка работы устройств для стабилизации разностной частоты двухчастотного лазера заключалась в измерении стабильности периода и диапазона перестройки разностной частоты  $f_p$ . Для экспериментов использовался гелий-неоновый лазер ( $\lambda = 0,63$  мкм) с внутренними зеркалами, разработанный в Институте автоматики и электротехники СО АН СССР (конструкция лазера приведена в [4]), который позволял осуществлять плавное изменение разностной частоты в диапазоне от 1 кГц до 5 МГц. Измеренная стабильность

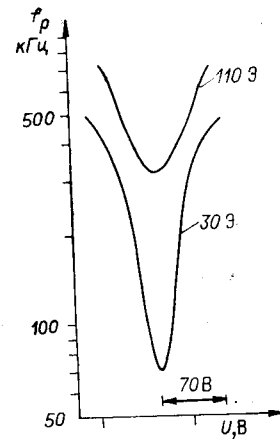


Рис. 1.

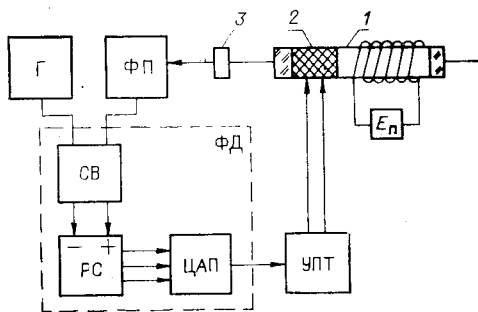


Рис. 2.

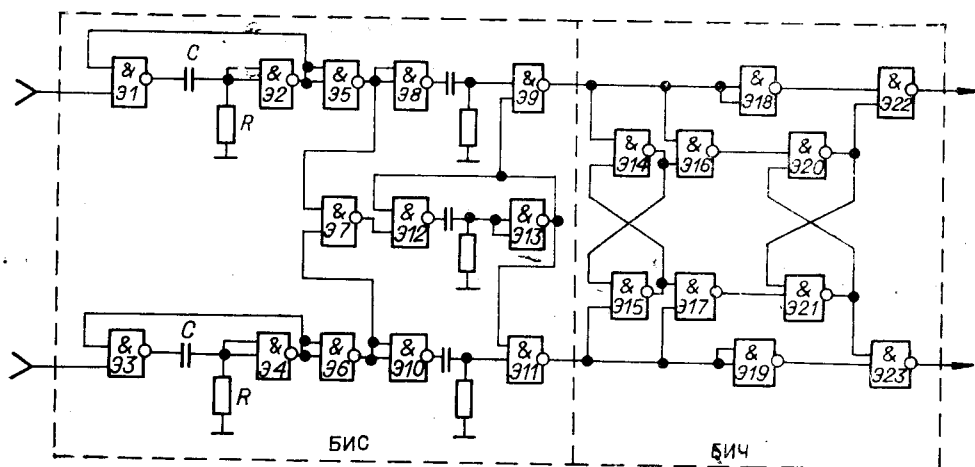


Рис. 3.

периода разностной частоты (для наивысшей частоты диапазона перестройки) составляла  $2 \cdot 10^{-2}$  при следующих параметрах устройства: коэффициенте усиления УПТ  $K=600$ , числе разрядов РС и ЦАП 10, минимальном приращении напряжения на выходе ЦАП 5 мВ. Поскольку рассмотренное устройство содержит схему фазовой автоподстройки частоты задающего кварцевого генератора и составляет  $\sim 1 \cdot 10^{-7}$  за время усреднения 1 с.

В заключение следует отметить, что разработанная схема автоподстройки разностной частоты использовалась для стабилизации разности оптических частот двух независимо генерирующих одночастотных лазеров. При этом их излучения смешивались на фотокатоде ФП, а выходной сигнал УПТ управлял длиной резонатора одного из этих лазеров.

#### Выводы

Разработано и исследовано устройство для стабилизации разностной частоты гелий-неонового лазера с внутренними зеркалами, помещенного в аксиальное магнитное поле. Возможность плавного изменения разностной частоты в диапазоне от 1 кГц до 5 МГц, осуществляемое задающим генератором, и полученная высокая стабильность этой частоты позволяют успешно использовать стабилизированный двухчастотный лазер в различных измерительных системах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. П. Коронкевич, Г. Г. Тарасов, В. А. Ханов. Измерение угла поворота с помощью двухчастотного лазера.— «Автометрия», 1971, № 1.
2. П. В. Новицкий, В. Г. Кнорринг, В. С. Гутников. Цифровые приборы с частотными датчиками. Л., «Энергия», 1970.
3. В. П. Кирьянов, И. Ф. Клисторин, М. А. Кокшаров. Об алгебраическом суммировании число-импульсных последовательностей.— В кн.: Системы сбора и первичной обработки измерительной информации. Новосибирск, Изд. ИАЭ СО АН СССР, 1973.
4. С. Н. Атутов, В. П. Коронкевич, А. И. Лохматов, В. В. Слабко, В. А. Ханов. Стабилизация гелий-неонового лазера с внутренними зеркалами в переменном магнитном поле.— «Автометрия», 1974, № 1.

Поступило в редакцию 28 декабря 1974 г.