

СТАБИЛЬНЫЙ CO_2 - ЛАЗЕР С ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЕТКОЙ

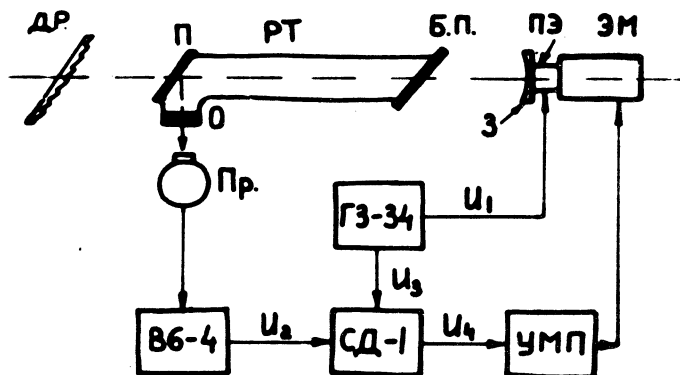
Е. Т. Антропов, И. А. Силин-Бекчурин,
Н. Н. Соболев

В режиме свободной генерации CO_2 -лазер работает на нескольких вращательных переходах, конкурирующих друг с другом, что приводит к весьма низкой частотной стабильности (порядка 10^{-3}) и неудовлетворительной стабильности уровня выходной мощности /1/. Ограничение генерации одной спектральной линией с помощью λ -селектора повышает стабильность частоты до $\sim 2 \cdot 10^{-6}$, что соответствует "плаванию" частоты в пределах доплеровского контура.

Для многих приложений, особенно требующих постоянного уровня мощности генерации, такой уровень стабильности недостаточен, и требуется некоторая система автоподстройки частоты резонатора /2/. В случае CO_2 -лазера реализация подобной схемы затруднена из-за необходимости относительно больших (до 10 мк) перемещений зеркала резонатора, что не всегда возможно с пьезоэлектрическими устройствами, обычно используемыми в лазерах в видимой области спектра /3/. Поэтому в некоторых случаях используют с CO_2 -лазерами механизмы другого типа. В /4/ описана электродинамическая система автоподстройки.

Нами осуществлена система стабилизации CO_2 -лазера в комбинированном варианте - частотная модуляция осуществляется с помощью пьезоэлемента, а сигнал автоподстройки обрабатывается с помощью электромагнитного механизма. Схема установки приведена на

рис. 1. Лазер образован разрядной трубкой РТ, помещенной в оптический резонатор, образованный зеркалом 3 и отражательной дифракционной решеткой ДР (100 штр/мм, угол блеска 30°). Зеркало 3 помещено

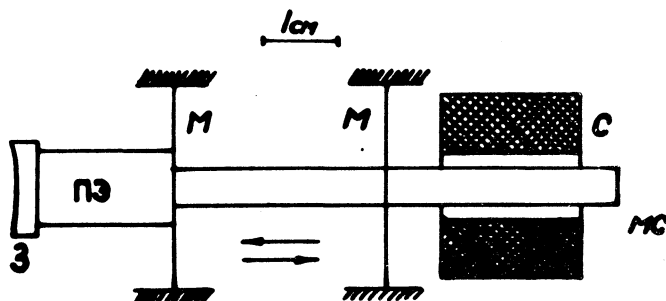


Р и с. 1. Схема установки.

ДР—дифракционная решетка, П—пластина из NaCl под углом 45° , О—окно из NaCl , РТ—газоразрядная трубка, Б.П. — пластина под углом Брюстера, 3 — зеркало резонатора, ПЭ — пьезокерамический элемент, ЭМ — электромагнитный механизм, Пр — приемник Гелли, ГЗ — 34 — генератор сигналов, В6—4 — микровольтметр, СД—1 — синхронный детектор, УМП—усилитель мощности.

на пьезокерамическом элементе ПЭ, на который подается переменное напряжение $U_1 \sim \sin \omega t$ от звукового генератора ГЗ—34. Вследствие колебательного перемещения зеркала 3 и сопутствующей частотной модуляции оптического резонатора выходное излучение лазера оказывается промодулированным по амплитуде, так что приемник Пр выдает сигнал $U_2 \sim \sin(\omega t + \varphi)$, где $\varphi = 0$ или $\varphi = \pi$ в зависимости от того, находится ли рабочая частота резонатора (мода) на правом или левом склоне кривой усиления активной среды (доплеровского контура). Сигналы U_2 и $U_3 \sim U_1$ поступают на синхронный детектор СД—1, который выдает сигнал ошибки U_4 , знак которого определяется

значением φ . Сигнал U_d усиливается усилителем мощности УМП и подается на электромагнитный механизм ЭМ, обрабатывающий необходимое для подстройки перемещение зеркала 3. Схема узла автоподстройки приведена на рис. 2, где 3 – зеркало резонатора, ПЭ – пьезоэлемент частотной модуляции, М – мембраны (пружинная сталь толщиной 0,1 мм) допускающие (в пределах упругого прогиба) продольное перемещение маг-



Р. и с. 2. Схема узла автоподстройки.

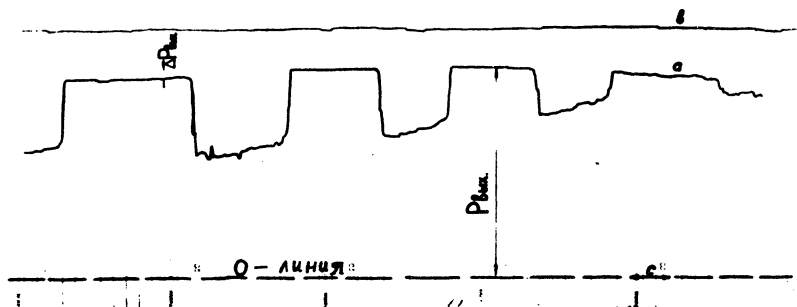
3 – зеркало резонатора, ПЭ – пьезоэлемент, М – мембраны, МС – сердечник электромагнита, С – соленоид.

нитного сердечника МС с пьезоэлементом и зеркалом. Соленоид С управляет положением магнитного сердечника.

Усилитель УМП, обеспечивающий управляющий ток соленоида, представляет собой полупроводниковый УПТ на трех транзисторах. Коллекторный ток выходного триода (П 202) является управляющим током соленоида.

Эффективность работы системы стабилизации может быть проиллюстрирована рис. 3, где представлена запись уровня выходной мощности лазера при попеременном включении и выключении системы стабилизации (кривая а). Можно видеть, что система стабилизации обеспечивает восстановление и поддержание уровня мощности P с точностью до $5 \pm 7\%$. При непрерывной работе системы стабилизации (кривая в) уровень под-

держивается более точно (не хуже 3%). Если предположить, что это "плавание" мощности целиком определяется только расстройкой рабочей моды лазера относительно центра контура усиления, в предположении доплеровской формы контура эта расстройка может быть оценена.



Р и с. 3. Запись уровня выходной мощности лазера. Смесь $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He} = 2:1:8$, $p = 8$ тор, $I = 15$ ма, $P_{\text{вых}} = 2$ вт, а - попеременное включение и выключение системы стабилизации, б - непрерывная работа системы стабилизации, с - интервал времени 1 мин.

Приравнивая усиление за двойной проход полным потерям и предполагая однородный характер уширения линий /5/, получаем

$$2k(\omega)l = \frac{2k_0(\omega)l}{1 + IF(\omega)/I_0} = \rho_n, \quad (1)$$

где k_0 - ненасыщенный показатель усиления, k - насыщенный показатель усиления, ρ_n - полные потери, I - мощность в резонаторе, I_0 - поток насыщения, $F(\omega)$ - фактор, учитывающий частотную зависимость насыщения усиления. Из (1) получаем

$$P(\omega) = \tau I = \tau [2k_0(\omega)l - \rho_n] I_0 / \rho_n F(\omega), \quad (2)$$

где $P(\omega)$ - выходная мощность, τ - эффективность развязки. Разлагая (2) в ряд Тэйлора имеем

$$\Delta P = \frac{1}{2} (\omega - \omega_0)^2 \left| \frac{\partial^2 P}{\partial \omega^2} \right|_{\omega_0} \quad (3)$$

откуда выполнив дифференцирование можно получить расстройку $(\omega - \omega_0)$.

Задаемся доплеровской формой линии усиления

$$k_0(\omega) = k_0(\omega_0) \exp \left\{ -4 \ln 2 \left(\frac{\omega - \omega_0}{\Delta \omega_D} \right)^2 \right\}, \quad (4)$$

и берем зависимость $F(\omega)$ в дисперсионной форме /6/

$$F(\omega) = \Gamma^2 / [(\omega - \omega_0)^2 + \Gamma^2], \quad (5)$$

где Γ - лоренцовская ударная ширина. Принимая $\Gamma = \Delta \omega_D = 50$ Мгц, окончательно получим

$$\omega - \omega_0 = \Gamma \sqrt{\frac{\Delta P}{P} \frac{P}{I_0} \frac{1}{\tau}}. \quad (6)$$

Принимая $\tau = 0,25$, $\Delta P/P = 0,03$, $P/I_0 = 0,1$, получаем $\omega - \omega_0 = 3$ Мгц, т.е. стабильность частоты $\sim 10^{-7}$.

Проведенный расчет имеет, разумеется, лишь оценочный характер. Для более точного суждения об уровне стабильности необходимо произвести спектральный анализ биений сигналов двух стабилизированных лазеров. Достигнутый уровень стабильности недостаточен, конечно, чтобы говорить о метрологическом использовании такого прибора (в качестве стандарта частоты), однако, для многих приложений, в том числе для ряда физических измерений, такой уровень стабильности достаточен. Существенно также, что система осуществлена при максимальном использовании стандартной аппаратуры.

Авторы благодарны П. Л. Рубину за полезные обсуждения и Б. В. Иванову за техническую помощь при постановке экспериментов.

Поступила в редакцию
13 апреля 1971 г.

Л и т е р а т у р а

1. А. Л. Микаэлян, А. В. Коровицын, Л. В. Наумова, С. А. Арсеньева. Радиотехника и электроника, 14, 111 (1969)
2. W. R. Rowley, D. C. Wilson, Nature, 200, 745 (1963).
3. K. Shimoda, A. Javan, J. Appl. Phys., 36, 718 (1965).
4. C. Meyer, P. Pinson, G. Rossett, P. Barchewitz. Canad. J. Phys., 47, 2565 (1969).
5. W. Rigrod, Journ. Appl. Phys., 34, 2602 (1963).
6. В. М. Файн, Я. И. Ханин. Квантовая радиопизика. М, 1965 г.