

А. И. ЛОХМАТОВ, В. А. ХАНОВ
(Новосибирск)

СИСТЕМА СТАБИЛИЗАЦИИ ЧАСТОТЫ ГАЗОВОГО ЛАЗЕРА ПО ПРОВАЛУ ЛЭМБА

Основным условием при применении лазеров для целей интерферометрии является постоянство частоты излучения. Частота излучения лазера определяется в основном длиной резонатора. Поэтому стабилизация частоты излучения сводится к поддержанию постоянства длины резонатора. Наиболее распространенной является активная стабилизация частоты. Она заключается в выделении сигнала расстройки резонатора лазера и воздействии этим сигналом на регулирующие устройства. Для подобных систем стабилизации общим является оптический дискриминатор, преобразующий отклонения частоты излучения в сигнал рассогласования постоянного или переменного тока. Амплитуда и фаза сигнала рассогласования отражают величину и направление частотного отклонения. После усиления и фазовой демодуляции сигнал ошибки используется для возвращения частоты генерации лазера к нулевой частоте оптического дискриминатора.

В настоящее время предложено много методов стабилизации, использующих различные типы оптических дискриминаторов [1, 2]. Каждый из них имеет свои специфические особенности, и выбор необходимого дискриминатора должен определяться целями применения.

Наибольшее практическое распространение получил метод стабилизации с использованием дискриминатора на основе атомного резонанса [2, 3]. Это объясняется тем, что длина волны излучения, соответствующая центру атомной линии, наиболее достоверно известна из сравнения с излучением изотопа криптона 86 [4, 5]. Кроме того, этот метод относительно прост в осуществлении и надежен в работе.

В разработанной нами системе стабилизации частоты гелий-неонового лазера ($\lambda=0,63 \text{ м}^{-6}$) был применен дискриминатор на основе атомного резонанса. При этом использовалась характерная зависимость мощности излучения от расстройки частоты генерации относительно центра атомной линии — провал Лэмба (рис. 1). Конструкция лазера приведена в [6].

Принцип работы системы. Для определения отклонения частоты генерации от центра провала на пьезокерамику Π_2 (рис. 2) подается поисковый сигнал

$$u = U_m \cos \Omega t,$$

где Ω — частота поиска, вызывающая амплитудную модуляцию выходного излучения, которая преобразуется фотодетектором 2 в электриче-

ский сигнал. Этот сигнал поступает на вход избирательного усилителя 3, настроенного на частоту Ω . Когда частота генерации совпадает с центром провала, сигнал на выходе избирательного усилителя уменьшается и становится равным нулю. Фаза изменяется на 180° , и амплитуда сигнала увеличивается на другой стороне от центра (см. рис. 1). Демодулируя сигнал фазовым детектором 4, получим постоянное напряжение, которое управляет сервомотором 5. Поворот движка потенциометра, закрепленного на валу мотора, изменяет напряжение на управляющей пьезокерамике Π_2 и подстраивает частоту.

Система автоподстройки частоты по провалу Лэмба является типичным экстремальным регулятором, поскольку частота подстраивается на минимум кривой мощности. В разработанной системе применен астатический закон регулирования, который является наиболее подходящим, так как не имеет статической ошибки в установившемся режиме.

Электронная схема автоподстройки частоты. Излучение лазера преобразуется в электрический сигнал германиевым фотодиодом типа ФД-3, работающим в вентильном режиме (рис. 3). Такое включение обеспечивает максимальное отношение сигнал/шум на входе схемы. Для согласования усилителя на транзисторах T_3, T_4 с фотодиодом применен каскадный эмиттерный повторитель T_1 и T_2 с $R_{вх} = 1,5$ МОм. Усилитель на транзисторах T_3, T_4 собран по каскадной схеме и имеет коэффициент усиления $K = 350$ при $R_{вых} = 100$ Ом.

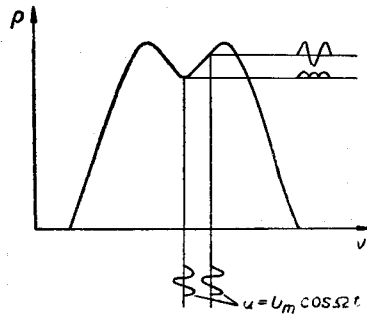


Рис. 1. Зависимость мощности излучения от частоты генерации.

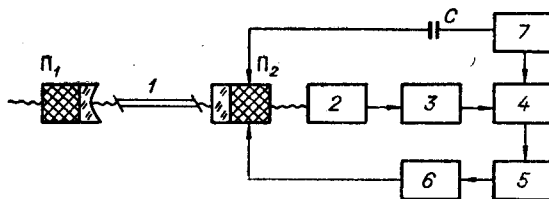
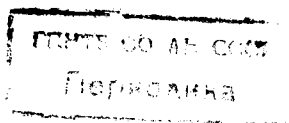


Рис. 2. Блок-схема системы автоподстройки частоты лазера: 1 — лазер; 2 — фотоприемник; 3 — избирательный усилитель; 4 — фазовый детектор; 5 — сервомотор; 6 — потенциометр на валу сервомотора; 7 — генератор опорной частоты; Π_1, Π_2 — пьезокерамика; C — разделительная емкость.

С предусилителя $T_1—T_4$ по соединительному кабелю сигнал рассогласования поступает на усилитель, собранный на лампе L_1 , и затем на избирательный усилитель L_{2a} с двойным Т-образным мостом в цепи отрицательной обратной связи. Полоса усиления избирательного усилителя равна 40 Гц. Далее сигнал подается на усилительный каскад с трансформаторным выходом, собранный на лампе L_{2b} . Регулировка усиления осуществляется потенциометром R_{2b} . Максимальное усиление каскадов на лампах L_1 и L_2 составляет $K = 100000$. Для уменьшения уровня наводок накалы ламп L_1 и L_2 питаются от постоянного тока через выпрямитель, собранный на $D_7—D_{10}$.

С трансформатора Tr_1 сигнал рассогласования подается на фазовый детектор, собранный по схеме однополупериодного фазочувствительного выпрямителя. Балансировка фазового детектора осуществляется потенциометром R_{31} .

Выходное напряжение фазового детектора управляет усилителем-преобразователем постоянного напряжения в напряжение с частотой 50 Гц, собранным на лампе L_4 . Выход усилителя подключен к управля-



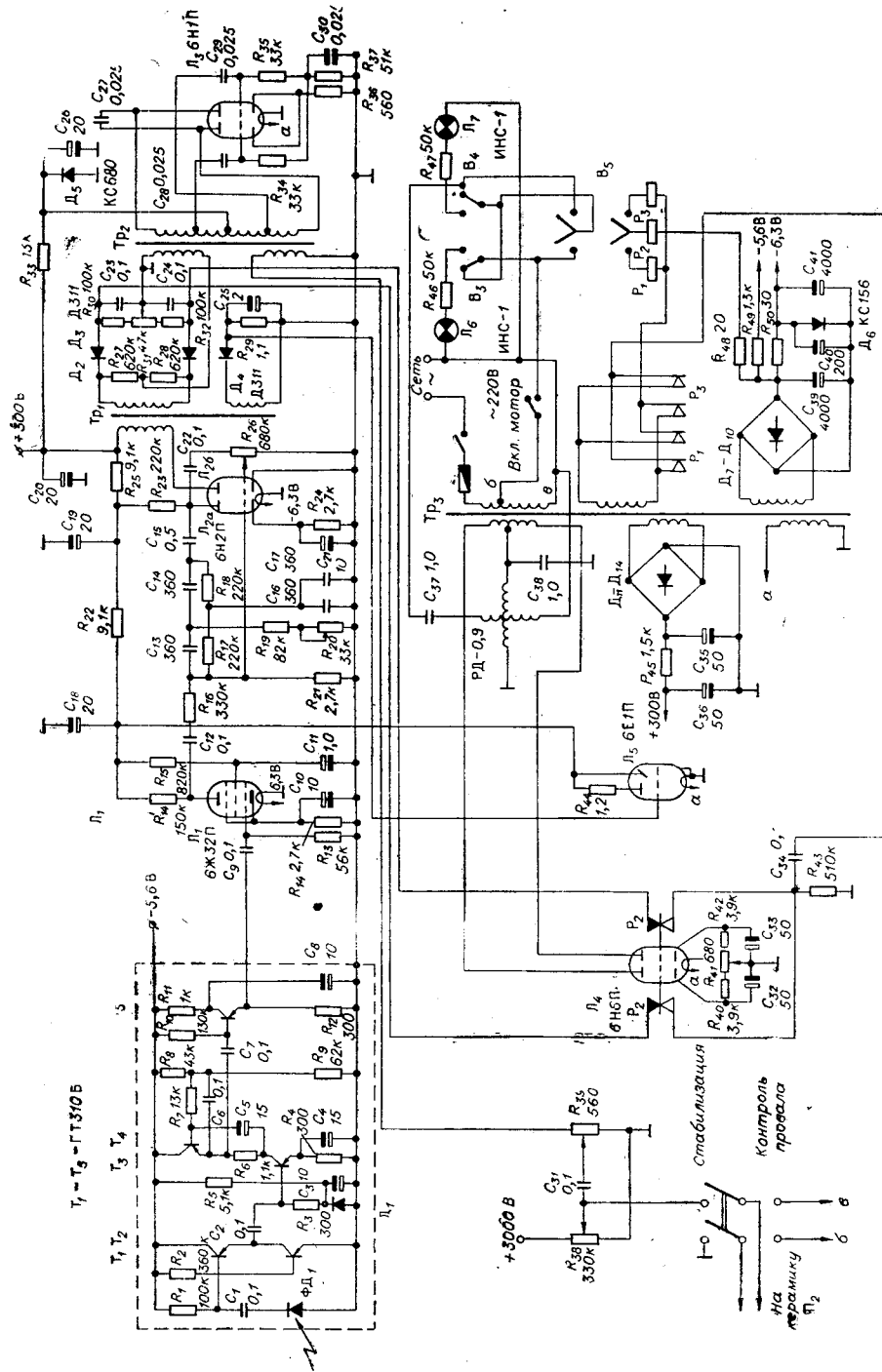


Рис. 3. Принципиальная схема системы стабилизации.

ющей обмотке реверсивного двигателя РД-09 (с редукцией 1/137). При отсутствии напряжения на сетках L_4 через управляющую обмотку двигателя протекает выпрямленный обеими половинками лампы ток, т. е. выходной каскад работает в этом случае как двухполупериодный выпрямитель.

Если на сетках лампы L_4 появляются постоянные напряжения разных знаков, то симметричность выпрямления нарушается. При этом появляется составляющая тока, совпадающая с частотой возбуждения обмотки, что приводит к вращению двигателя. Вал двигателя связан с осью потенциометра R_{38} , регулирующего напряжение на керамике (типа ЦТС-19 с чувствительностью 10 МГц/В). Питание потенциометра осуществляется от общего источника питания +300 В.

Напряжение модуляции частоты 1 кГц снимается с обмотки генератора опорного напряжения, собранного по обычной схеме с индуктивной обратной связью на лампе L_3 , и регулируется сопротивлением R_{39} в пределах от 0 до 800 мВ. Контроль настройки проводится по электронно-оптическому индикатору L_5 , на сетку которого подается выпрямленное напряжение сигнала рассогласования. Настройка проводится при помощи переключателя B_5 по минимуму светового поля на экране индикатора.

Характеристика системы. О качестве системы автоподстройки частоты можно судить по следующим показателям: стабильности частоты при медленно изменяющихся воздействиях и в установившемся режиме; виду и особенностям переходных характеристик; амплитудно-частотной характеристике замкнутой системы.

Выбор таких показателей обусловлен тем, что они позволяют оценить возможность использования системы для эксплуатации в реальных производственных условиях.

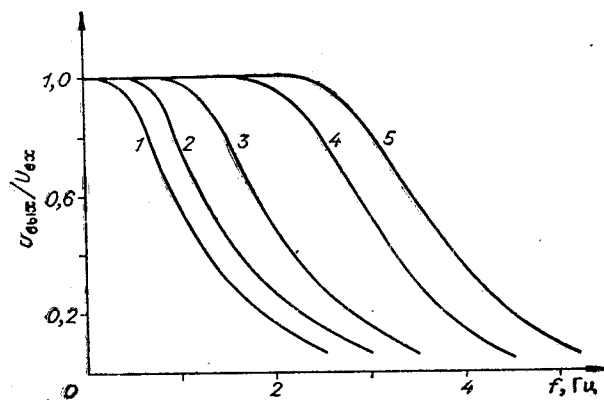


Рис. 4. Амплитудно-частотная характеристика замкнутой системы при различных значениях девиации частоты излучения лазера:

1 — 200 МГц; 2 — 160 МГц; 3 — 100 МГц; 4 — 70 МГц; 5 — 37 МГц.

Способность цепи регулирования отслеживать периодические возмущения определялась путем подачи на пьезокерамику $П_1$ (см. рис. 2) известного сигнала от низкоомного источника и измерения сигнала рассогласования на управляющей пьезокерамике $П_2$. По полученным данным были построены амплитудно-частотные характеристики замкнутой системы для разных значений синусоидального входного сигнала (рис. 4). Кривая 1 соответствует большей амплитуде воздействия и, сле-

довательно, большей девиации частоты излучения. Из графика видно, что частотный диапазон существенно зависит от амплитуды входного сигнала. Это объясняется наличием нелинейности, возникающей из-за люфта, сухого трения и т. п. Поскольку температурные возмущения происходят с частотой меньше 1 Гц, то лазер, стабилизированный посредством рассматриваемой системы, может успешно использоваться в интерферометрах для измерения длин.

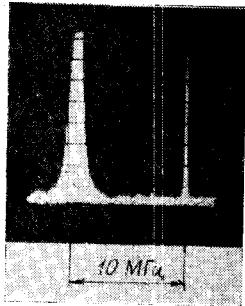


Рис. 5. Спектр биений двух ОКГ.

Стабильность частоты излучения лазера определялась методом гетеродинамирования [7]. Излучения двух оптических квантовых генераторов совмещались на фотокатоде ФЭУ-83. Сигнал разностной частоты, лежащий в радиодиапазоне, подавался на спектроанализатор С4-8. Лазеры, как и соответствующие системы стабилизации, были сделаны по возможности одинаковыми. Анализ картины, наблюдаемой на экране спектроанализатора (рис. 5), показывает, что уход разностной частоты за время 2—2,5 мин меньше 2 МГц, что соответствует относительной стабильности каждого из лазеров $3 \cdot 10^{-9}$. Уход разностной частоты за день 8—10 МГц (относительная стабильность $3 \cdot 10^{-8}$).

Вывод

Гелий-неоновый лазер, стабилизированный при помощи разработанной системы автоподстройки частоты излучения, был применен в лазерном измерителе перемещений, успешно прошел производственные испытания.

ЛИТЕРАТУРА

1. A. D. White. Gas Laser Frequency stabilization.— *Microwaves*, 1967, v. 6, № 1.
2. G. Birnbaum. Frequency Stabilization of Gas Laser.— *Proc. of the IEEE*, 1967, v. 55, № 6.
3. E. Engelhard. Wellenlängenstabilität eines He-Ne Lasers.— *Zeitschrift für angewandte Physik*, 1966, Bd. 20, H. 5.
4. A. L. Bloom, D. L. Wright. Pressure Shifts in a Stabilized Wave-length Helium-Neon Laser.— *Applied Optics*, 1966, v. 5, № 10.
5. K. D. Mielenz. Reproducibility of Helium-Neon Laser Wavelengths at 633 nm.— *Applied Optics*, 1968, v. 7, № 2.
6. Г. А. Ленкова, А. И. Лохматов, И. А. Михальцова. Одночастотный стабилизированный гелий-неоновый лазер.— *Автоматика*, 1971, № 1.
7. Р. А. Валитов и др. Измерение характеристик оптических квантовых генераторов. М., Изд-во Комитета стандартов, 1969.

Поступила в редакцию
2 сентября 1970 г.