

М., 1982. [3] Митрофанов В. П., Пономарева О. И., Хорев А. А. // ЖТФ. 1985. № 5, № 4. С. 765—767. [4] Новик А., Берри Б. Релаксационные явления в кристаллах. М., 1975. [5] Гегузин Я. Е., Кагановский Ю. С. Диффузионные процессы на поверхности кристалла. М., 1984. [6] Anderson O., Bömmel H. // J. Amer. Cer. Soc. 1955. 38. P. 125—131.

Поступила в редакцию  
12.05.86

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1987. Т. 28, № 5

## ОПТИКА И СПЕКТРОСКОПИЯ

УДК 535.417:531.7.08

### АВТОМАТИЧЕСКАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ БАЗЫ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ИНТЕРФЕРОМЕТРА

В. А. Дорезюк, В. И. Шмальгаузен

*(кафедра общей физики и волновых процессов)*

Исследуется система активной стабилизации базы диагностического интерферометра Тваймана—Грина с управляемым по положению (при помощи пьезокерамического привода) зеркалом в опорном плече.

**1. Введение.** В настоящее время для измерения параметров сред и исследования поверхностей широко применяется интерферометрическая техника.

Высокая чувствительность интерферометрической аппаратуры приводит к необходимости защиты ее от различного рода помех: вибрации, тепловых отклонений и т. д. Стандартные методы борьбы с помехами сводятся в основном к созданию сложной системы подвесок, подушек, к установке интерферометров в подвальных этажах зданий и т. п. Эти способы не всегда приемлемы, дороги и зачастую малоэффективны, что и привело к интенсивному развитию методов активной стабилизации, которые подразумевают создание цепи обратной связи, замыкающейся обычно при помощи электронных устройств. При отклонении от положения стабилизации эти устройства вырабатывают сигнал управления, который подается на активный оптический элемент, корректирующий волновой фронт нужным образом. В качестве такого элемента обычно используются управляемые зеркала с пьезоэлектрическим [1; 2] или электродинамическим [3] приводом. В большинстве случаев это небольшие по размерам и легкие конструкции. Для целей же диагностической интерферометрии требуются высококачественные зеркала с большой апертурой. Такие зеркала обычно массивны и имеют низкую резонансную частоту. Поэтому включение их в контур замкнутой следящей системы в качестве исполнительного устройства может в значительной степени изменить вид амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) контура и вывести систему из области устойчивости. Для обеспечения устойчивой работы в этих случаях необходима коррекция АЧХ контура.

В данной работе описана система активной стабилизации диагностического интерферометра Тваймана—Грина (рис. 1) с управляемым по положению (при помощи пьезоэлектрического привода) зеркалом в опорном плече и приводятся результаты экспериментов с системой.

2. Принцип работы и блок-схема системы стабилизации. Общие принципы применения методов адаптивной оптики в интерферометрии изложены в работах [4, 5].

Схема стабилизации представляет собой замкнутую следящую систему. Сигнал рассогласования вырабатывается при отклонении от заданного значения величины  $dI(\Delta)/d\Delta$ , где  $I(\Delta)$  — интенсивность излучения в точке расположения фотоприемника:

$$I(\Delta) = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \{4\pi\Delta/\lambda\},$$

$I_1$  и  $I_2$  — интенсивности интерферирующих лучей;  $\Delta$  — разность длин плеч (база) интерферометра,  $\lambda$  — длина волны излучения. Величину  $dI(\Delta)/d\Delta$  можно определить, изменяя  $\Delta$  по гармоническому закону с частотой  $f$ . Возникающая при этом модуляция интенсивности регистрируется фотоприемником и выделяется сигнал на частоте  $f$  (или на

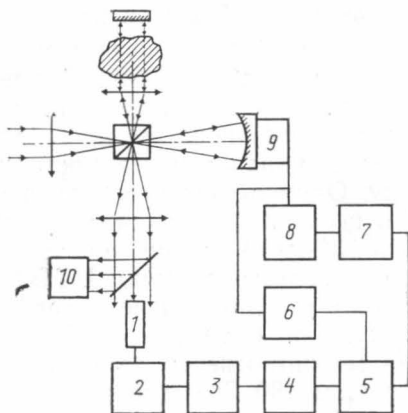


Рис. 1. Схема диагностического интерферометра Тваймана—Грина с блок-схемой системы стабилизации: 1 — фотоприемник, 2 — УНЧ, 3 — высокочастотный фильтр, 4 — полосовой фильтр, 5 — фазовый детектор, 6 — генератор опорного напряжения, 7 — интегратор, 8 — УПТ, 9 — пьезоэлемент, 10 — система регистрации

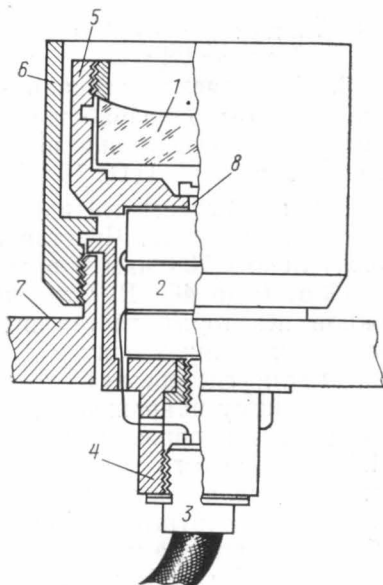


Рис. 2. Конструкция зеркала, управляемого по положению: 1 — стеклянная подложка с напылением, 2 — пьезокерамические пакеты, 3 — разъем с кабелем, 4 — стакан, 5 — оправа, 6 — защитный тубус, 7 — переходное кольцо, 8 — стягивающий болт

гармонике частоты  $f$ ). Фаза и амплитуда сигнала несут информацию соответственно о знаке и величине отклонения от точки стабилизации [6]. В отличие от схем, в которых сигнал рассогласования пропорционален отклонению величины  $I(\Delta)$  от заданного значения [1] системы с модуляцией нечувствительны к посторонним засветкам фотоприемника.

Функциональная блок-схема системы приведена на рис. 1. Сигнал с фотоприемника подавался на усилитель низкой частоты (УНЧ). Чтобы сильные низкочастотные возмущения не выводили усилитель из рабочего режима, на его входе был установлен фильтр высоких частот.

С выхода УНЧ сигнал поступал на резонансный активный фильтр, настроенный на частоту  $f=5,15$  кГц генератора опорного напряжения, а полоса пропускания составляла 200 Гц по уровню 1/2 (добротность  $\sim 25$ ). Далее сигнал подавался на один из входов фазового детектора, на второй вход которого поступал сигнал частоты  $f$  с генератора опорного напряжения. На выходе фазового детектора наблюдалось медленно меняющееся напряжение, величина которого была пропорциональна величине отклонения от точки стабилизации, а полярность соответствовала знаку отклонения. После прохождения через интегратор и усилитель постоянного тока (УПТ) управляющее напряжение через буферный каскад эмиттерных повторителей поступало на управляемое зеркало. На него же через трансформатор подавалось модулирующее напряжение с генератора опорного напряжения. Весь электронный тракт системы был собран на аналоговых приборах. Для обеспечения устойчивости системы была откорректирована ее АЧХ путем включения в контур обратной связи интегратора специально рассчитанной RC-цепочки.

**3. Управляемое зеркало и его характеристики.** Для системы стабилизации было разработано и изготовлено зеркало, управляемое по положению при помощи пьезоэлектрического привода, изготовленного из пьезокерамики ЦТС-19. Конструкция зеркала изображена на рис. 2.

Были измерены статические и динамические характеристики изготовленного зеркала. Чувствительность зеркала оказалась равной приблизительно  $0,108$  мкм/В в диапазоне прикладываемых постоянных напряжений от 0 до 400 В. Статическая характеристика конструкции обнаружила некоторый гистерезис при изменении управляющего постоянного напряжения в одну и другую сторону. Однако относительная ширина петли гистерезиса, т. е. ширина, отнесенная к максимальному приложенному напряжению, не превышала 13%, что хорошо согласуется с данными, приводимыми в литературе для пьезокерамики ЦТС-19. АЧХ управляемого зеркала, установленного в опорном плече интерферометра, имела достаточно сложную форму. При измерении наблюдались низкочастотные резонансы, которые можно отнести за счет колебаний интерферометрического стола в целом (80 Гц) и юстируемых оправ (660 Гц). Поскольку общая масса оправы и оптической подложки составляла 110 г, частота первого резонанса самого зеркала была достаточно низка — 2,75 кГц. Частота модуляции соответствовала частоте второго резонанса зеркала  $f=5,15$  кГц.

**4. Результаты экспериментов.** Для исследования работы системы стабилизации на ее вход подавались различные возмущения. Возмущения вносились в предметное плечо интерферометра при помощи небольшого управляемого зеркала. Привод этого легкого зеркала был аналогичен приводу зеркала в опорном плече и имел почти равную с ним чувствительность. При подаче на вспомогательное зеркало в предметном плече гармонического напряжения система вырабатывала управляющий сигнал (отклик), который вносился в противофазе в опорное плечо, что и стабилизировало картину.

Интерферограммы на рис. 3 иллюстрируют эффект стабилизации при частоте возмущения 100 Гц. При изменении частоты возмущения амплитуда и фаза отклика ведут себя достаточно сложным образом. Однако вплоть до частот порядка 250 Гц наблюдалась устойчивая стабилизация: контраст картины не изменялся, положение полос было фиксировано. Система устойчиво отслеживала квазистатические возмущения: надавливание на опоры интерферометра, тепловые отклонения.

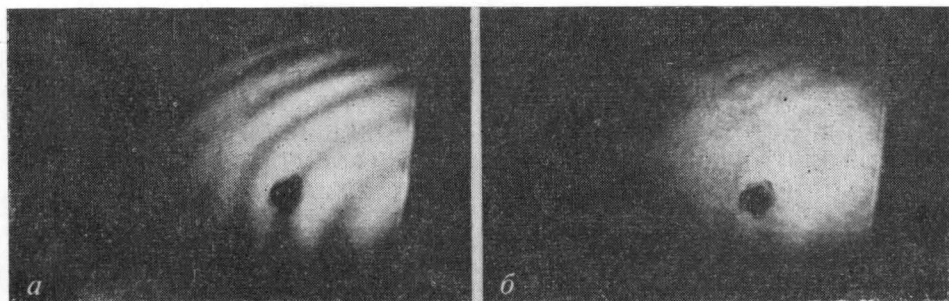


Рис. 3. Интерферограммы, иллюстрирующие эффект стабилизации при частоте возмущения 100 Гц (точка на интерферограмме — место расположения фотоприемника системы): обратная связь замкнута (а) и разомкнута (б)

При этом срыва слежения не происходило до тех пор, пока не исчерпывался динамический диапазон УПТ ( $\pm 140$  В, что соответствовало изменению  $\Delta$  приблизительно на  $\pm 1,58$  мкм). Быстродействие системы не позволяло стабилизировать картину по отношению к ударам по опорам интерферометра.

В заключение отметим, что основная часть спектра возмущений, обусловленных вибрацией фундамента здания, вибрацией интерференционных столов, тепловыми отклонениями и т. д., обычно лежит в полосе частот  $0 \div 100$  Гц. Таким образом, система активной стабилизации позволяет значительно уменьшить влияние этих помех, а также осуществить «привязку» интерференционной полосы (темной или светлой) к точке расположения фотоприемника, что упрощает автоматизированную обработку и сравнение интерферограмм.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Багрянский П. А., Белкин В. С. // Приб. и техн. эксперимента. 1984. № 3. С. 178—180. [2] Jackson D. A. // J. Phys. E: Sci. Instrum. 1981. 14, N 11. P. 1274—1278. [3] Schneider J., Robertson S. // Rev. Sci. Instrum. 1979. 50, N 7. P. 856—858. [4] Воронцов М. А., Шмальгаузен В. И. // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 3, Физ. Астрон. 1977. 18, № 2. С. 67—73. [5] Воронцов М. А., Прудзе Д. В., Шмальгаузен В. И. // Квант. электроника. 1982. 9, № 7. С. 1366—1371. [6] Гаврюшенко Б. С. // Оптико-механич. промышленность. 1985. № 8. С. 27—28.

Поступила в редакцию  
09.01.86

После переработки  
01.04.87