

Ю. Н. ДУБНИЦЕВ, В. А. ЖМУДЬ, В. А. ПАВЛОВ, А. А. СТОЛПОВСКИЙ  
(Новосибирск)

### ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ЛАЗЕРА В КОГЕРЕНТНО-ОПТИЧЕСКОМ ИЗМЕРИТЕЛЕ СКОРОСТИ

Когерентно-оптические методы измерения скорости, основанные на выделении доплеровского сдвига частоты в рассеянном свете, интенсивно развиваются, и сфера их приложений непрерывно расширяется [1, 2]. В современной лазерной доплеровской анемометрии (ЛДА) по-прежнему актуальны проблемы повышения надежности измерительных устройств и миниатюризации оптических датчиков. Их решение связывают с применением в ЛДА полупроводниковых лазеров. В традиционных схемах ЛДА могут использоваться полупроводниковые лазеры с длиной когерентности излучения порядка нескольких миллиметров. Предпочтительным является видимый диапазон излучения при комнатной температуре. Возможность применения в лазерной анемометрии инфракрасных импульсных инжекционных лазеров хотя и отмечена в литературе [3], однако практической реализации не получила. Модуляционные свойства полупроводниковых лазеров, способность к плавной перестройке длины волны излучения, низкий уровень шумов позволяют организовать измерительные схемы с качественно новыми характеристиками. В таких схемах, например, легко реализуется управление частотой несущей оптического сигнала. Тем не менее, практическое использование полупроводниковых лазеров в когерентно-оптической измерительной технике пока еще делает первые шаги.

В настоящей работе сообщается о применении полупроводникового лазера ИЛПН-2К в действующем макете ЛДА, выполненном по дифференциальной схеме [1, 2]. Этот лазер дает непрерывное излучение в видимом диапазоне ( $\lambda = 0,78$  мкм) при комнатной температуре. Мощность излучения 3 мВт при токе накачки 200 мА. На рис. 1 показана оптическая схема ЛДА. В системе стабилизации излучения лазера источник накачки 8 управляется сигналом, формируемым в цепи обратной связи, состоящей из элементов 9—11. Потенциометр  $R_k$  задает режим работы лазера. Глубина обратной связи устанавливается потенциометром  $R_0$ . Оптические элементы 1—3 формируют зондирующее интерференционное поле. Объектив 4 проецирует на фотоприемник 6 изображение интерференционного поля в свете, рассеянном движущимися частицами.

На рис. 2 приведена принципиальная схема стабилизации полупроводникового лазера. Источник питания лазера выполнен на транзисторе  $V_1$  КТ827В и управляется сигналом с выхода операционного усилителя 140УД7.

На рис. 3 показаны выходные сигналы фотоприемника 6 рис. 1, полученные при пересечении зондирующего поля в различных сечениях  $\Delta$  по оптической оси ( $\Delta$  — расстояние между выбранным сечением интерференционного поля и точкой, в которой пересекаются оси интерферирующих пучков). Диаметр цилиндра 5 мкм, а ориентация перпендикулярна плоскости, проходящей через падающие пучки. Размер интерференционной полосы  $\Lambda = 10$  мкм. Хотя контраст сигнала достаточно высокий, отношение амплитуды переменной составляющей к pedestalу не достигает единицы. Это объясняется дополнительным вкладом, который вносит спонтанная компонента излучения лазера.

Для управления частотой несущей доплеровского сигнала в схеме, представленной на рис. 1, элемент 3 выполняется, например, в виде акустооптического модулятора-расщепителя, в котором возбуждается бегущая ультразвуковая волна, частота которой  $\Omega_1$ , а лазер работает в импульсном режиме с частотой модуляции тока накачки  $\Omega_2$ . Как и в обычных двухчастотных схемах ЛДА [1, 2], в исследуемой среде формируется зондирующее интерференционное поле с бегущими полосами, скорость движения которых равна  $V_0 = \Omega_1/K$ , где  $K = 2\pi/\Lambda$  — пространственная круговая частота интерференционной решетки. Электрический сигнал на выходе фотоприемника содержит низкочастотный pedestal и высокочастотную компоненту:

$$I_D = I \cos [(\Omega_1 + \omega_D)t + \varphi],$$

где  $\omega_D = VK$  — доплеровский сдвиг частоты,  $V$  — скорость рассеивающей частицы. Если интенсивность излучения лазера модулируется с частотой  $\Omega_2$ , то при 100%-ной глубине модуляции получаем с точностью до фазы  $\varphi$

$$I_D = I \cos (\Omega_1 + \omega_D)t + (1/2)I \cos (\Omega_1 + \Omega_2 + \omega_D)t + (1/2)I \cos (\Omega_1 - \Omega_2 + \omega_D)t.$$

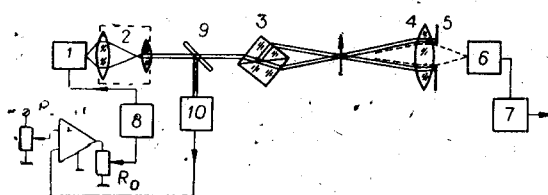


Рис. 1. Оптическая схема ЛДА: 1 — лазер с системой стабилизации мощности излучения; 2 — коллиматор; 3 — формирователь зондирующего интерференционного поля, выполненный в виде светоделительного кубика; 4 — приемный объектив; 5 — апертурная диафрагма; 6 — фотоприемник; 7 — электронный процессор, измеряющий доплеровский сдвиг частоты; 8 — источник питания лазера; 9 — расщепитель; 10 — фотоприемник; 11 — операционный усилитель.

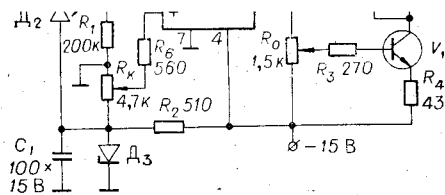
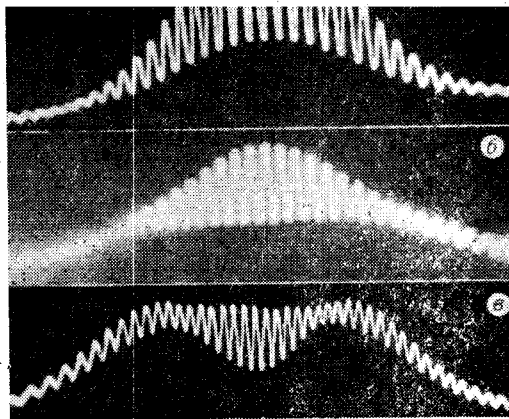


Рис. 2. Схема стабилизации мощности излучения полупроводникового лазера: Д<sub>1</sub> — лазер; Д<sub>2</sub> — лавинный фотодиод.

Рис. 3. Сигнал с выхода фотоприемника в оптической схеме ЛДА, полученный при движении рассеивателя в различных сечениях зондирующего интерференционного поля:

а —  $\Delta=0$ ; б —  $\Delta=1$  мм; в —  $\Delta=1,5$  мм.



Первые две высокочастотные составляющие в сигнале легко отфильтровываются. Остается третья компонента, частота несущей которой равна разности известных модуляционных частот  $\Omega_1$  и  $\Omega_2$ . Изменяя частоту модуляции тока накачки лазера, можно плавно перестраивать частоту несущей. Это качество обеспечивается хорошими модуляционными свойствами полупроводникового лазера и позволяет реализовать схемы ЛДА с преобразованием доплеровского сигнала в оптическом канале в постоянную промежуточную частоту [4]. Схемы такого типа существенно упрощают обработку сигнала и повышают точность измерений, а применение полупроводникового лазера дает возможность выполнить их в миниатюрных габаритах методами оптической интегральной технологии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дюрани Т., Грейгид К. Лазерные системы в гидродинамических экспериментах: Пер. с англ./Под ред. А. И. Божкова.— М.: Энергия, 1980.
2. Дубнищев Ю. Н., Ринкевичюс Б. С. Методы лазерной доплеровской анемометрии.— М.: Наука, 1982.
3. Christensen M. Laser Doppler velocimeter.— Filed 14.10.75, publ. 19.07.77. Cl. G 01 p3/36. USA. Pat. 4036557.
4. Belousov P. Ya., Dubnistchev Yu. N., Stolpovski A. A. The application of an electro-optical frequency modulator with a rotating electric field in optical Doppler velocimeters.— Opt. and Laser Technol., 1977, vol. 9, N 1, p. 31.

Поступило в редакцию 3 июня 1983 г.

АННОТАЦИИ ДЕПОНИРОВАННЫХ СТАТЕЙ

УДК 681.51 : 519.8 + 681.518.3

ПРИБЛИЖЕННЫЙ АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД  
ДЛЯ СРАВНЕНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ,  
ПАРАЛЛЕЛЬНО-ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ  
И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

*Б. Г. Магценко*

На этапе блочно-функционального проектирования цифровых проблемно-ориентированных систем, для которых быстродействие не является единственным определяющим показателем, важно оценить возможность и целесообразность разработки параллельно-последовательной системы (ППС), обладающей не большей стоимостью (основное ограничение) и не меньшей надежностью по катастрофическим отказам (целевая функция), чем параллельная система (ПС), в которой заданное конечное множество алгоритмов (операторов или функций)  $F_1, \dots, F_m$  ( $m \geq 2$ ) реализуется в виде  $m$  независимых устройств в некотором элементном базисе. Предложенный метод позволяет при указанных ограничениях решать задачу структурного анализа ПС и ППС в общем виде. Соответствующие модели определены с помощью введенного С. В. Яблонским понятия алгоритмизированных регулярных правильных управляющих систем. Это дает возможность осуществить декомпозицию указанных ограничений по конечному множеству неизоморфных базисных подсхем, получаемых в результате теоретико-множественного разбиения геометрических реализаций схем (структур) анализируемых вариантов ПС без ограничений на классы алгоритмов и (или) схем, и свести решение задачи анализа к поиску вектора чисел, удовлетворяющего системе неравенств, записанной для названных подсхем, в том числе подсхем с постоянным резервированием их структурных компонентов. Методика расчетов с применением полученных в работе приближенных аналитических зависимостей показана при решении задачи сравнения вариантов структур цифровых систем автоматического контроля (для  $m = 5$ ). Стр. 38, табл. 4, ил. 9, библиогр. 15.

*Статья депонирована в ВИНТИ, рег. № 4538—83.  
Деп. от 28.07.83.*