УДК: 621.375(045)

В. М. Землянский, д-р физ.-мат. наук, проф.

МЕТОДЫ ПРОТИВОФАЗНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ФИЛЬТРАЦИИ В КОГЕРЕНТНО-ОПТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ

Институт электроники и систем управления НАУ, e-mail: iesy@nau.edu.ua

Приведена классификация впервые разработанных методов противофазной симметричной пространственной фильтрации, рассмотрены принципы построения и особенности реализации этих методов в когерентно-оптических преобразователях, основанных на установленных свойствах пространственной симметрии параметров доплеровского сигнала и поляризационно-фазовых эффектах, присущих дифференциальной схеме лазерного доплеровского анемометра [1] применительно к различным вариантам компенсационных лазерных доплеровских анемометров, использующих как монодисперсные, так и полидисперсные потоки светорассеивающих частиц.

Введение и постановка задачи. Основу принципов действия методов противофазной симметричной пространственной фильтрации (ПСПФ) составляют установленные свойства пространственной симметрии параметров доплеровского сигнала при различных поляризациях пучков [1], а также общие закономерности изменения составляющей фазы доплеровского сигнала, определяемой эффектами рассеяния в зависимости от геометрии пучков и параметров дифференциальной схемы лазерного доплеровского анемометра (ЛДА), рассмотренные в работе [2].

Исследования показывают, что при заданных геометрии пучков и параметрах частиц всегда можно выбрать такие поляризации этих пучков, при которых, реализуя один из видов симметричного приема можно выделить две пространственные области приема, для которых наблюдается формирование противофазных доплеровских сигналов [2]. Такая противофазная симметричная пространственная фильтрация позволяет, во-первых, при суммировании противофазных сигналов обеспечить подавление перекрестных помех, возникающих в многокомпонентных ЛДА, во-вторых, обеспечить получение максимума доплеровского сигнала и увеличения сигнала/шума за счет фазового согласования этих сигналов при подаче их после высокочастотной фильтрации в устройство вычитания и, в-третьих, при равенстве противофазных доплеровских сигналов и низкочастотных составляющих сигналов фотоприемников достичь одновременно с увеличением полезного сигнала режима компенсации низкочастотного пьедестала при вычитании этих сигналов (т. е. реализовать компенсационный режим работы ЛДА). Компенсационные ЛДА, основанные на балансном методе приема [3], впервые были рассмотрены в работах [4] и [5]. Недостатком этих ЛДА является то, что они могут эффективно работать только при приеме излучения в пространственной области, в пределах которой коэффициент поляризационного согласования $K_{\text{пи}} = 1$. Это принципиальное ограничение не распространяется на схемы ЛДА, рассматриваемые в данной работе.

Основной материал. Методы ПСПФ в зависимости от вида симметричного приема делятся на две группы: симметричного приема фазосопряженных сигналов и симметричного приема противофазных сигналов (рис. 1). Первая группа методов ПСПФ может применяться в ЛДА, измеряющих скорость потоков с введением в них монодисперсных частиц. Отличительной особенностью этих методов является использование такого вида симметричного приема, при котором наблюдается формирование фазосопряженных сигналов.

Для дифференциальной схемы ЛДА установлены два вида симметричного приема при различных поляризациях пучков, при которых наблюдается формирование фазово-сопряженных доплеровских сигналов. Первому виду симметричного приема соответствует схема ЛДА, когда для двух направлений приема, симметричных относительно плоскости,

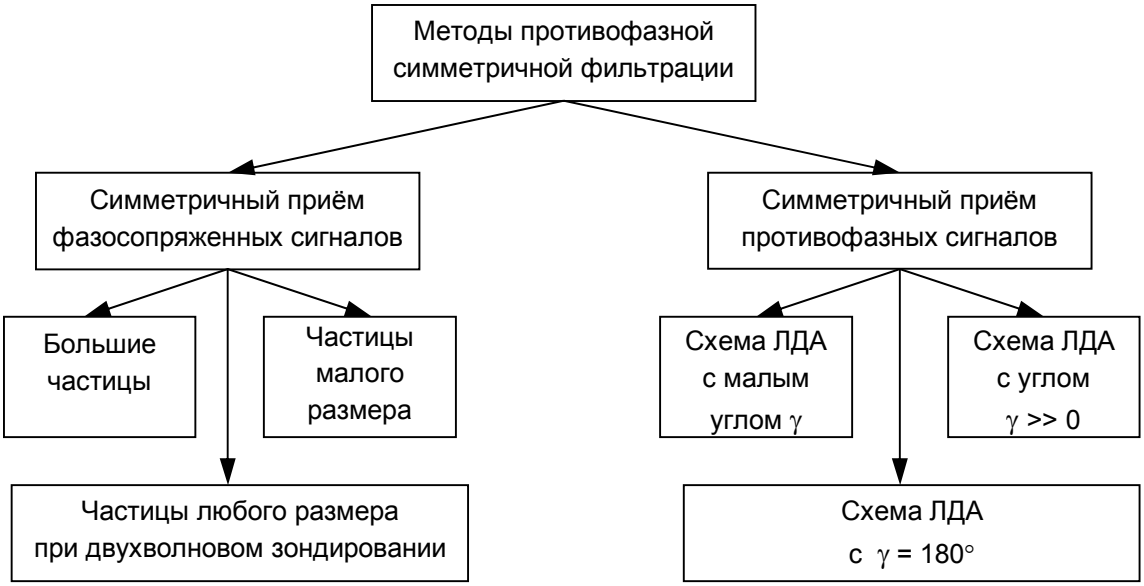

Рис. 1. Классификация методов противофазной симметричной фильтрации

проходящей через ось схемы и ориентированной перпендикулярно плоскости пучков, доплеровские сигналы являются фазосопряженными, если пучки имеют следующие состояния поляризации: а) линейные согласованные; б) линейные с направлением электрических векторов в плоскости пучков; в) один пучок имеет правоциркулярную (левоциркулярную), а другой левоциркулярную (правоциркулярную) поляризации; г) линейные поляризации с равными по модулю, но противоположными по знаку азимутами. Второму виду симметричного приема соответствует схема ЛДА, в которой, если пучки имеют либо эллиптические поляризации с равными азимутами и эллиптичностью, либо право-циркулярные (левоциркулярные) поляризации, то фазосопряженные доплеровские сигналы формируются при приеме излучения в двух направлениях, симметричных относительно оси схемы ЛДА.

Показано, что если в измерительном объеме под одним и тем же углом пересекаются одна и вторая пары равных по интенсивности пучков, некогерентных по отношению друг к другу и имеющих линейные взаимно ортогональные поляризации, развернутые по отношению друг к другу на 90°, то доплеровский сигнал от одной пары пучков, наблюдаемый в некотором произвольном направлении, является фазосопряженным по отношению к доплеровскому сигналу от другой пары пучков, наблюдаемому в направлении, симметричном первому относительно плоскости, проходящей через ось схемы и ориентированной перпендикулярно плоскости пучков.

Область применения второй группы методов ПСПФ распространяется на полидисперсные частицы. Реализация этих методов предполагает использование в ЛДА пучков с взаимно ортогональными поляризациями и осуществление в зависимости от типа геометрии пучков ($\gamma \leq 1°$, $\gamma >> 0$ и $\gamma = 180°$, см. рис. 1) одного из видов симметричного приема, при котором наблюдается формирование противофазных доплеровских сигналов. Для второй группы методов на формирование противофазных сигналов не оказывают влияния параметры как схемы ЛДА, так и частиц, т. е. в принципе конфигурации пространственная конфигурация (ПФ) может быть произвольной при обязательном соблюдении для данного типа схемы ЛДА соответствующего условия симметричности приема.

Для дифференциальной схемы ЛДА с линейными взаимно ортогональными поляризациями зондирующих пучков установлено, что для двух направлений приема, симметричных относительно плоскости пучков, доплеровские сигналы, независимо от интенсивностей пучков, равны по амплитуде и находятся в противофазе.

Это позволяет создать два пространственно сопряженных ПФ, методика расчета которых в зависимости от размера частиц (см. рис. 1) либо основана на теории рассеяния Ми (частицы малого размера) [1], либо на дифракционной теории Фраунгофера (большие частицы) [6], либо, используя двухволновую схему ЛДА, выбрать для заданного размера частиц такие параметры геометрии пучков и приемной апертуры, при которых доплеровские сигналы, образуемые при приме излучения на различных длинах волн, находятся в противофазе [7]. Причем для первой группы методов характерным является то, что конфигурации и размер ПФ, с помощью которых осуществляется противофазная фильтрация, зависят от параметров как схемы ЛДА, так и частиц.

Пусть, например, необходимо осуществить контроль технологического процесса изготовления непрозрачных в оптическом диапазоне сферических монодисперсных частиц заданного размера d_{r1} и скорость их движения. На рис. 2 представлен один из вариантов ЛДА, реализующий метод ПСПФ. Пучок *5* проходит через устройство сдвига частоты *6*. Контролируемые частицы вводятся в зону измерения *11* генератором частоты *12*. Отражающая поверхность зеркала *15* выполнена оптически согласованной с заданным размером частиц d_{r1}. Для изготовления такого зеркала в центр зоны измерения “о” помещают образцовую сферическую частицу диаметром d_{r1}. Плавно поворачивая полуволновую пластину *8* добиваются совмещения оси симметрии максимума интерференционный картины с центром частицы.

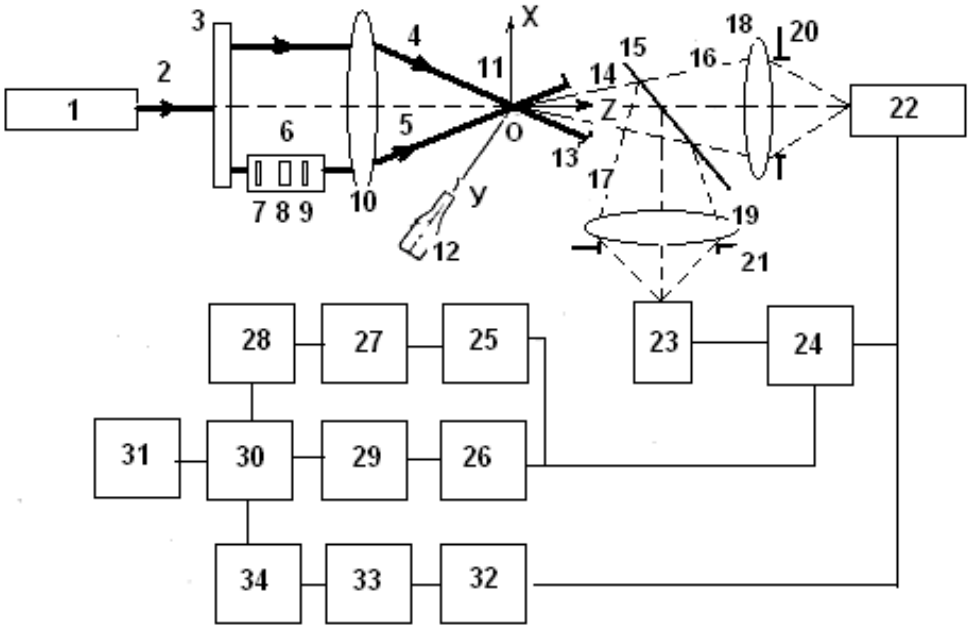

Рис. 2. Схема ЛДА с использованием ПСПФ

Затем вместо зеркала *15* устанавливают фотопластину под углом β к оси *OZ*, на которую экспонируют суммарное дифрагированное поле излучения (большая частица, малый угол *γ*, см. рис. 1). В тех областях фотопластины, где зафиксированы максимумы интерференционной картины, образуемой при суперпозиции двух дифрагированных полей излучения, наносят зеркальные покрытия, а в областях пластины, соответствующих минимумам интерференционной картины, выполняют отверстия. Изготовленное таким образом зеркало *15* (либо синтезированное на ЭВМ) устанавливается в том самом месте под углом β к оси схемы *OZ*, где раньше была установлена фотопластина. Использование зеркала *15* эквивалентно применению двух оптически согласованных ПСПФ, установленных соответственно перед фотоприемниками *22* и *23*. Предлагаемый ЛДА позволяет с высокой точностью, чувствительностью и помехоустойчивостью осуществлять достоверный контроль изготовления монодисперсных сферических частиц с одновременным измерением их

скорости. В схеме ЛДА обеспечивается компенсация помех, которые синфазны. С помощью предлагаемой схемы ЛДА можно контролировать также круглые отверстия в непрозрачном экране (дифракция Фраунгофера). Монодисперсные сферические частицы из различных материалов широко используются в радиотехнической, химической, пищевой и другой промышленности, при создании образцовых мер частиц, а также при метрологической аттестации и калибровке различных по принципам действия измерителей и анализаторов частиц.

Выводы. Предложена классификация разработанных методов ПСПФ, основанных на фазовых и поляризационных эффектах рассеяния, которые в зависимости от используемого в ЛДА вида симметричного приема делятся на две группы методов: симметричного приема фазосопряженных сигналов и симметричного приема противофазных сигналов. Первая группа методов ПСПФ, в основу принципа действия которых положено использование одного из видов симметричного приема, при котором наблюдается формирование фазосопряженных сигналов, и соответствующей противофазной пространственной фильтрации может применяться в ЛДА с введением в поток монодисперсных частиц. Область применения второй группы методов ПСПФ распространяется на потоки с полидисперсными частицами. Реализация этих методов в ЛДА предполагает использование зондирующих пучков с взаимно ортогональными поляризациями и осуществления в зависимости от используемой геометрии пучков одного из видов симметричного приема, при котором наблюдается формирование противофазных доплеровских сигналов.

Список литературы

1. *Землянский В. М.* Расчет параметров доплеровского сигнала ЛДА с учётом поляризационно-фазовых эффектов рассеяния. – К.: Вища шк., 1987. – 177 с.
2. *V. Zemlianskii.* A new phase method of measuring particle's size with laser Dopler system. J. Aerosol Sci., 1996. – P 5325 – 5326.
3. *Росс М.* Лазерные приёмники. – М.: Мир, 1969. – 520 с.
4. *Mossel H. H., Hiller W. I., Meir G. E.* Noise canselling signal difference methods for optical velocity measurement// J. Phys.: E-1972.-V.5 # 9. – 893 p.

В. М. Землянський

Методи протифазної оптичної фільтрації в когерентно-оптичних претворювачах

Наведено класифікацію вперше розроблених методів симетричної просторової протифазної фільтрації, розглянуто принципи побудови і особливості реалізації цих методів в когерентно-оптичних перетворювачах, які засновані на встановлених властивостях просторової симетрії параметрів доплерівського сигналу і поляризаційно-фазових ефектах, властивих диференційній схемі лазерного доплерівського анемометра [1] стосовно різних варіантів компенсаційних лазерних доплеровських анемометрах, що використовують як монодисперсні, так і полідисперсні потоки мікрочастинок, які розсіюють світло.

V. M. Zemlyanskii

Methods of antiphase optical filtration of coherently optical transformer

The classification of the first developed methods of antiphase symmetric space filtration is given, principles of design and peculiarities of realization of these methods in the coherent-optical converters (COC) based on set properties of space symmetry of Doppler signal parameters and phase-polarized effects are considered, inherent to the differential scheme of laser Doppler anemometer (LDA) in application to a variety of compensational LDA, used as either monodispersal or polydispersal fluxes light-propagated particles, examples of realization of LDA are given, implementing ASSF method.