В. Л. Козлов, И. И. Чендырин

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДВУХВОЛНОВОГО ЛАЗЕРА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДОППЛЕРОВСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ СКОРОСТИ

Оптические доплеровские системы с когерентными излучателем и приемником, использующим фотогетеродинирование, теоретически могут обладать очень высокой точностью определения дальности и скорости [1]. С помощью эффекта Доплера возможно решать различные прикладные задачи, например, обнаруживать медленно перемещающиеся объекты на фоне неподвижных объектов с одинаковой отражающей способностью, определять скорость и угол направления движения объекта, спектр и диапазон вибраций и т.д. [2].

Однако системы этого типа обладают определенными недостатками, первый из которых связан с тем, что доплеровский сдвиг частоты может достигать десятков тысяч мегагерц, и тогда необходимо использовать методы сверхширокополосного приема, что приводит к снижению чувствительности. При использовании в качестве источника зондиру-ющего излучения полупроводникового лазера, обладающего малой длиной когерентности, на точность измерений будет оказывать существенное влияние параметры когерентности лазера. Кроме того, как будет показано ниже, доплеровские измерители с одноволновым лазером позволяют определить только проекцию скорости на линию наблюдения, а не точное значение скорости объекта и угла направления движения, что в общем случае сужает функциональные возможности измерительной системы.

В доплеровских измерителях, использующих в качестве источника зондирующего излучения полупроводниковые инжекционные лазеры, для исключения влияния малого времени когерентности лазера и уменьшения доплеровских сдвигов частоты отраженного излучения в измерительной системе используется опорный и измерительный лучи одинаковой оптической длины. Функциональная схема такого лазерного доплеровского измерителя скорости представлена на рис. 1. Излучение от лазера разделяется светоделителем на два пучка, которые под углом φ между ними направляются к объекту, движущемуся со скоростью v и под углом α к горизонтали. На фотоприемник (ФП) попадают два отраженных от объекта оптических сигнала, имеющие различные доплеровские сдвиги частоты в зависимости от угла направления движения объекта. В результате фотосмешения на фотоприемнике выделяется разностная час-

тота этих сигналов, значение которой можно выразить следующим образом:

$$f_д = f_{д1} - f_{д2} = 2f_0\frac{v}{c}[\cos(\frac{\pi}{2}-\frac{\varphi}{2}-\alpha)+\cos(\frac{\pi}{2}-\frac{\varphi}{2}+\alpha)] = 4f_0\frac{v}{c}\sin\frac{\varphi}{2}\cos\frac{\alpha}{2}. \quad (1)$$

В случае горизонтального движения ($\alpha = 0$) система позволяет точно измерять значение скорости, определяемое из разностной частоты

$$f_д = 2f_0\frac{v}{c}\sin\frac{\varphi}{2}, \quad (2)$$

где $f_д$ – доплеровская частота для случая горизонтального полета.

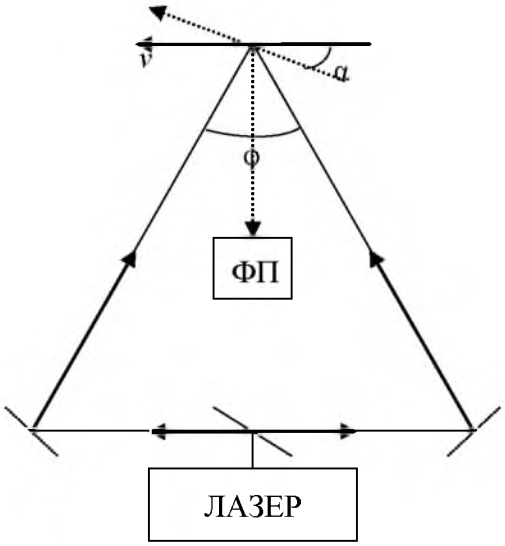

Рис. 1. Принципиальная схема лазерного доплеровского измерителя скорости

При движения объекта под углом к горизонтали появляется погрешность измерения скорости, обусловленная углом движения к горизонтали α. Следовательно, при использовании одноволнового лазера, без применения разнесенных оптических локационных систем, измеритель позволяет определить точно только проекцию скорости движения объекта на линию наблюдения, а не точное значение скорости и направления движения объекта.

Для доплеровской измерительной системы, представленной на рис. 1, скорость движения будет определяться с некоторой относительной погрешностью ε, равной

$$\varepsilon = 1 - \cos\frac{\alpha}{2}. \quad (3)$$

Для оценки величины относительной погрешности измерения скорости были выбраны следующие параметры доплеровской измерительной системы: длина волны одноволнового источника излучения λ=800 нм, угол между опорным и измерительным лучами φ = 20°. При этом при скорости движения объекта v = 11,5 м/с регистрируемый доплеровский сдвиг лазерного излучения составляет около $f_д$ = 10 МГц. Зависимость относительной погрешности ε от угла наклона направления движения объекта α представлена на рис. 2.

Из графика видно, что при больших значениях угла наклона погрешность может достигать 15%. Следовательно, метод измерения скорости движения, с применением одноволнового лазера применим, главным образом, для случаев горизонтального движения или при изменении направления движения в узких пределах, например, движущейся по трубам жидкости.

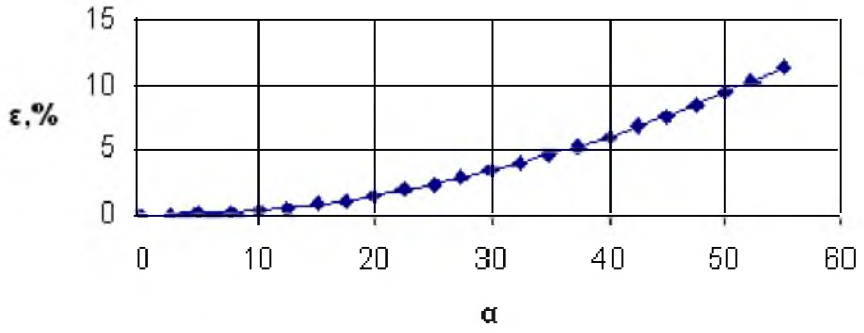

Рис.2. Зависимость относительной погрешности ε от угла наклона α направления движения объекта

Для обеспечения возможности одновременного определения точного значения скорости и угла направления движения объекта в качестве источника зондирующего излучения предлагается использовать двухволновой инжекционный полупроводниковый лазер [2], обеспечивающий одновременную генерацию излучения на двух различных оптических длинах волн.

Функциональная схема лазерного доплеровского измерителя скорости с использованием двухволнового лазера в качестве источника зондирующего излучения представлена на рис. 3. В системе опорный и измерительный лучи на длинах волн λ_1, λ_2 с помощью полупрозрачных зеркал направляются к объекту под разными углами φ_1, φ_2 соответственно. При этом для разделения информационных сигналов по длинам волн на фотогетеродинных приемниках П1 и П2 осуществляется спектральная селекция.