

СПЕКТРАЛЬНЫЙ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЙ КВАДРАТУРНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ СИГНАЛОВ ЛАЗЕРНОГО ДОПЛЕРОВСКОГО АНЕМОМЕТРА

Бакакин Г.В.¹, Аникин Ю.А.¹, Главный В.Г.¹, Двойнишников С.В.¹, Кабардин И.К.¹, Кротов С.В.¹, Павлов В.А.¹, Садбаков О.Ю.¹, Чубов А.С.¹

¹ФГБУН «Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН», Новосибирск (630090, г. Новосибирск, пр-т Академика Лаврентьева, 1), e-mail: bakakin@itp.nsc.ru

Предварительное частотно-временное преобразование электрических сигналов является обязательным этапом разработки лазерных доплеровских измерительных систем. Известные устройства работают в наиболее простом в реализации режиме одноканального частотного преобразования сигнала без промежуточной частоты. При этом теряется информация о знаке скорости. Переход к квадратурному режиму позволяет сохранить фазовую информацию и восстановить знак скорости измеряемого объекта. В работе рассмотрен малозумящий спектральный оптико-электронный квадратурный преобразователь сигналов, предназначенный для сохранения информации о знаке отклонения частоты доплеровского радиосигнала и представления ее в виде относительной фазы выходных радиосигналов. Преобразователь обеспечивает равенство фазовых (в том числе динамических) искажений в квадратурных каналах, что значительно улучшает метрологические характеристики лазерных доплеровских измерительных систем.

Ключевые слова: квадратурный, акустооптический модулятор, частота, спектр.

SPECTRAL OPTOELECTRONIC QUADRATURE TRANSFORMER OF SIGNALS OF LASER DORLEROVSKY ANEMOMETER

Bakakin G.V.¹, Anikin Y.A.¹, Glavniy V.G.¹, Dvoynishnikov S.V.¹, Kabardin I.K.¹, Krotov S.V.¹, Pavlov V.A.¹, Sadbakov O.Y.¹, Chubov A.S.¹

¹Institute of thermophysics SB RAS, Novosibirsk (630090, Novosibirsk, Lavrentiev av., 1), E-mail: bakakin@itp.nsc.ru

The analysis of methods for preliminary time-and-frequency conversions of signals are a mandatory development cycle of laser Doppler measuring systems. Known devices work in the most simple in implementation a mode of one-channel frequency conversion of a signal without the intermediate frequency. Thus the information on a sign of the speed is lost. Passage to the quadrature mode allows to save the phase information and to recover a sign on speed of measured object. In the article the low-noise spectral optical-electronic quadrature transformer of signals intended for saving of the information on a sign of a deviation of frequency of the Doppler radio signal and its representation in the form of the relative phase of output radio signals. This transformer provides equality phase (including dynamic) distortions in the quadrature channels that considerably refines metrological characteristics of laser Doppler measuring systems.

Key words: quadrature, acousto-optic modulator, frequency, spectral conversions.

Введение

Создание современных методов диагностики потоков определяется возрастающими требованиями, связанными с проблемами оптимизации различных технологических процессов и создания техники нового поколения в энергетике, на транспорте, в машиностроении и т.д. [5]. Улучшение точности диагностики вихревых течений необходимо как для описания режимов работы и совершенствования вихревых технологий, так и для разработки и совершенствования современных методов их расчета. Несмотря на развитие компьютерных систем, позволяющих проводить численное моделирование физических процессов, решающая роль при исследованиях по-прежнему остается за экспериментом.

Важнейшим требованием к измерительным приборам, наряду с обеспечением точности, является недопустимость механических возмущений исследуемых сред в процессе измерений. Перспективным инструментом бесконтактной диагностики является лазерная доплеровская анемометрия, обладающая высоким пространственно-временным разрешением [4].

Методы исследований

В настоящее время в лазерной доплеровской анемометрии (ЛДА) широко используется дифференциальная схема с двумя зондирующими пучками [2]. В качестве дифракционных лучевых расщепителей в таких схемах часто используются акустооптические модуляторы (АОМ), работающие в режиме дифракции Брэгга [4]. При этом дополнительным преимуществом использования дифференциальной схемы ЛДА, выполненной на основе комбинации АОМ и объективов, является нечувствительность регистрируемой доплеровской частоты к изменению длины волны лазерного излучателя. На рисунке 1 показана типовая схема оптоэлектронного тракта дифференциального ЛДА.

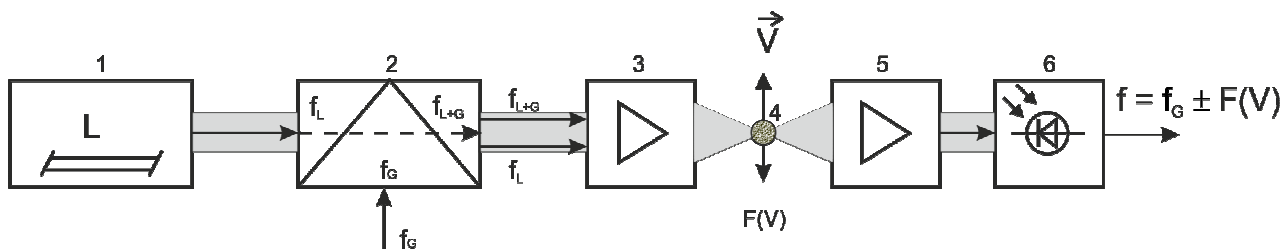


Рисунок 1. Структурная схема оптоэлектронного тракта дифференциального ЛДА.

Цифрами на рисунке обозначены:

- 1 – лазер (f_L - частота излучения лазера);
- 2 – акустооптический модулятор (f_G – частота гетеродина, определяемая типом АОМ);
- 3 – оптическая формирующая система;
- 4 – исследуемый объект, движущийся со скоростью V , пропорциональной доплеровской частоте $F(V)$;
- 5 – оптическая приемная система;
- 6 – фотоприемник.

Наиболее простым в реализации является режим частотного преобразования сигнала лазерных доплеровских анемометров (ЛДА) без промежуточной частоты. Известные устройства управления АОМ [1; 3] двухчастотных ЛДА работают в одноканальном режиме. При этом теряется информация о знаке скорости (рис. 2а).

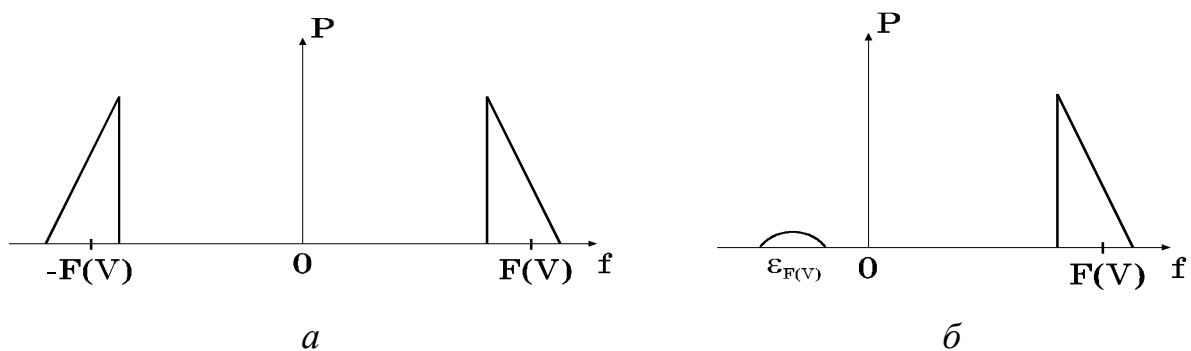


Рисунок 2. Частотные преобразования фотоэлектронного сигнала в

электронном измерительном канале ЛДА при нулевой промежуточной частоте. Показаны:

a – спектр сигнала в одноканальном ЛДА; *б* – спектр сигнала в квадратурном ЛДА.

Переход к квадратурному режиму позволяет сохранить фазовую информацию и восстановить знак скорости измеряемого объекта (рис. 2б). Вместе с тем квадратурный режим сложен в реализации из-за необходимости обеспечения равенства фазовых (в том числе динамических) искажений в квадратурных каналах при условии малых шумов и высокой устойчивости к многократным импульсным перегрузкам.

Практическая реализация

На рисунке 3 представлена функциональная схема разработанного авторами спектрального фотоэлектронного квадратурного дифференциального преобразователя сигналов для ЛДА. Преобразователь состоит из кварцевого задающего генератора 1, предварительного усилителя 2 и оконечного усилителя мощности 3 и квадратурного дифференциального смесителя 4. Назначение смесителя – перенос спектра выходного сигнала фотоприемника в область промежуточной частоты (в данном случае – нулевой).

Кварцевый генератор содержит собственно кварцевый генератор 1.1, работающий на пятой гармонике резонатора, и буферный каскад 1.2. Выходной сигнал этого буферного каскада, усиленный резонансным двухкаскадным предварительным усилителем 2.1 и регулируемым оконечным усилителем мощности 3.1, через выходной согласующий П-контур 3.2 по линии связи ЛС подводится к акустооптическому модулятору АОМ.

Смеситель квадратурный 4 состоит из фазовращателей 4.1 и 4.1, буферных каскадов 4.3 и 4.4, балансных модуляторов 4.5 и 4.6, фильтров нижних частот 4.7 и 4.8 и дифференциальных усилителей 4.9 и 4.10.

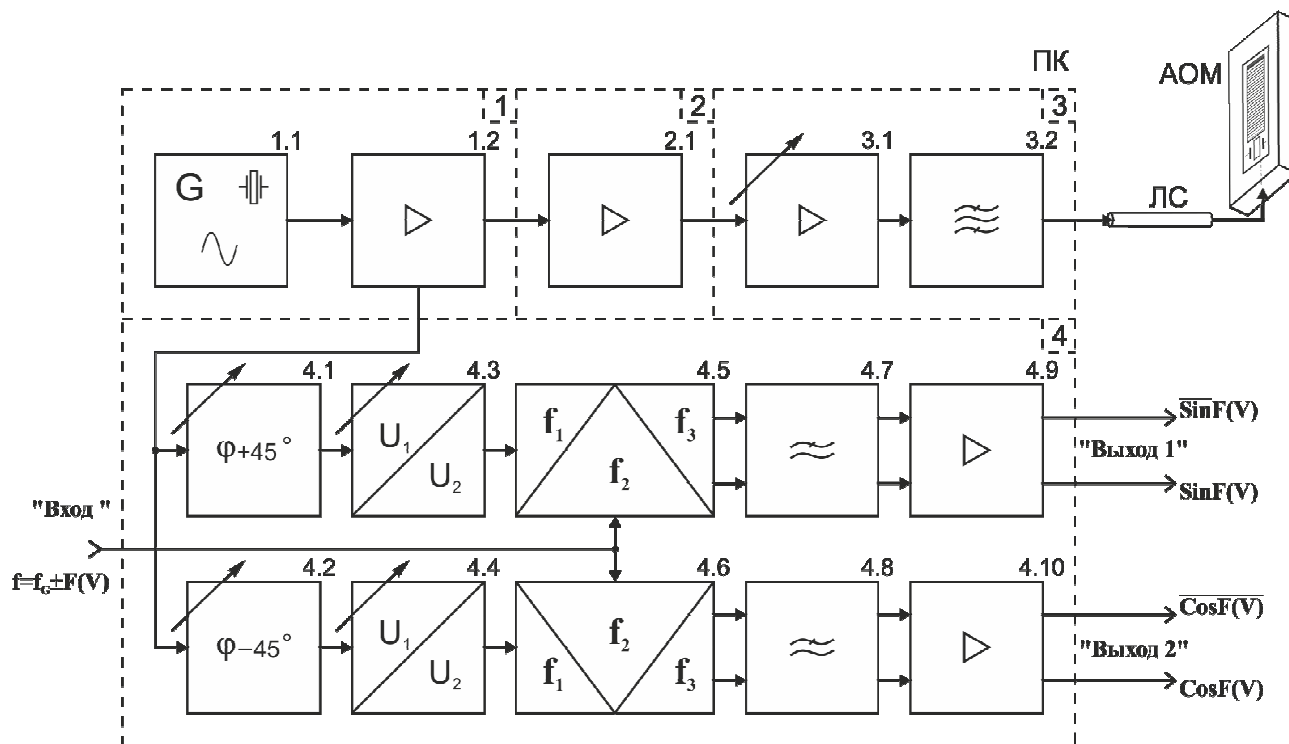


Рисунок 3. Функциональная схема спектрального фотоэлектронного квадратурного дифференциального преобразователя сигналов ЛДА.

Сигнал кварцевого генератора 1.1 через буферный каскад 1.2 подается на фазовращатели 4.1 и 4.2, формирующие квадратурный сигнал, который подводится к сигнальным входам балансных модуляторов 4.3 и 4.4. На гетеродинные входы этих модуляторов подается радиосигнал фотоприемника ЛДА, содержащий доплеровскую компоненту $F(V)$, частоту гетеродина f_G , а также различного рода аддитивные шумы. Информация о модуле скорости движения исследуемых объектов содержится в частоте выходных сигналов модуляторов. Эти сигналы проходят через фильтр нижних частот 4.7 и 4.8 с частотой среза 5 МГц, дифференциальные усилители 4.9, 4.10 и поступают на входы сигнального процессора ЛДА. Применение согласованного двухканального дифференциального тракта с оптимизированной переходной характеристикой, соответствующей фильтрам Бесселя 10 порядка, позволило существенно снизить уровень синфазных помех в полезном сигнале и, как следствие, повысить точность определения доплеровской частоты.

Заклучение

Для предварительного частотно-временного преобразования электрических сигналов предложен и реализован малошумящий спектральный оптико-электронный квадратурный дифференциальный преобразователь сигналов ЛДА. Преобразователь предназначен для

сохранения информации о знаке отклонения частоты доплеровского радиосигнала и представления ее в виде относительной фазы выходных радиосигналов, формирования сигнала, управляющего акустооптическим модулятором, переноса спектра выходного сигнала фотоприемника в область нулевой частоты. Преобразователь обеспечивает равенство фазовых и динамических искажений в квадратурных каналах, что положительно влияет на метрологические характеристики ЛДА. Преобразователь реализован в лазерном анемометре «ЛАД-015», установленном во Всероссийском научно-исследовательском институте метрологии имени Д.И. Менделеева, Санкт-Петербург. ЛДА «ЛАД-015» внесен в Государственный реестр средств измерений, № 46694-11.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках реализации ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы» (ГК № 11.519.11.6022).

Список литературы

1. Бакакин Г.В. Устройство управления акустооптическим модулятором в двухчастотном ЛДА // Оптические методы исследования потоков : труды 9-й Международной научно-технической конференции. – М. : Изд-во МЭИ, 2007. – С. 108-111.
2. Дубнищев Ю.Н., Арбузов В.А., Белоусов П.П., Белоусов П.Я. Оптические методы исследования потоков. - Новосибирск, Сибирское университетское изд-во, 2003. – 418 с.
3. Иванов А.И., Щербак Ю.М. Блок управления акустооптическим модулятором // Приборы и техника эксперимента. - 1992. – № 1. – С. 241.
4. Окулов В.Л., Наумов И.В., Соренсен Ж.Н. Особенности оптической диагностики пульсирующих течений // ЖТФ. - 2007. – Т. 77. - № 5. - С. 47-57.
5. Meledin V.G. Informatics of Optoelectronic Measurements: Science and Innovative Industrial Technologies // Journal of Engineering Thermophysics. - 2009. - Vol. 18. – No. 2. – P. 99-128.

Рецензенты:

Бердников Владимир Степанович, д.ф.-м.н., профессор, зав. лабораторией, Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, г. Новосибирск.

Лежнин Сергей Иванович, д.ф.-м.н., профессор, г.н.с., Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, г. Новосибирск.