

Блок чувствительных элементов для инерциальных систем управления

Дмитрий Гаманюк (г. Саратов)

Статья посвящена решению такой задачи, как измерение угловой скорости и линейного ускорения при помощи блока чувствительных элементов (БЧЭ) на базе трёхосного волоконно-оптического гироскопа и микроэлектромеханических акселерометров. Рассмотрены устройство, принцип работы и области применения данного прибора.

Прибор БЧЭ400 предназначен для измерения проекций векторов абсолютной угловой скорости и кажущегося линейного ускорения на оси чувствительности прибора и передачи выходной информации в виде последовательного цифрового кода по интерфейсу RS-422.

СОСТАВ ПРИБОРА

Функционально прибор состоит из следующих основных частей:

1. оптический блок, в состав которого входят:
 - три ортогонально расположенных кольцевых волоконно-оптических контура (ВК);

- три модуля интегрально-оптических многофункциональных (МИОМ);
 - источник оптического излучения, содержащий суперлюминесцентный диод (СЛД);
 - три модуля оптических приёмных, содержащих фотодиоды (ФД);
2. блок акселерометров, в состав которого входят три расположенных ортогонально акселерометра (АКС);
 3. электронные блоки для приёма, преобразования и вывода информации, в составе которых находятся:
 - три усилителя фототока УФТ-095;
 - плата управления излучателем ПУИ-096;

- блок цифровой обработки БЦО-087;
 - плата акселерометров ПА-008;
 - плата питания акселерометров ППА-069;
4. термодатчик – микросхема AD590КН;
 5. электрический разъём X1.

Совокупность ВК, МИОМ и ФД образует оптическую часть каждого из трёх измерительных каналов угловой скорости по осям X, Y, Z. Ортогонально расположенные акселерометры составляют чувствительную часть трёх измерительных каналов линейного ускорения по осям X, Y, Z.

Электронная часть измерительных каналов имеет как обособленные элементы (три УФТ-095), так и общие платы (БЦО-087, ПА-008, ППА-069). Функциональная схема прибора (без термодатчика) приведена на рисунке 1.

УСТРОЙСТВО И РАБОТА ПРИБОРА

На плате управления излучателем ПУИ-096 установлен источник электромагнитного излучения оптического диапазона – суперлюминесцентный диод (СЛД), в состав которого входят термодатчик (ТД) и термоэлектрический модуль (ТЭМ). Блок ПУИ-096 обеспечивает подачу в СЛД необходимого тока накачки и осуществляет температурную стабилизацию СЛД на номинальной температуре +20°С.

Каждый волоконный контур представляет собой цилиндрическую катушку с намотанным на неё оптическим волокном – проводником оптического излучения. МИОМ осуществляет поляризацию и распределение светового потока в волоконно-оптическом контуре каждого измерительного канала прибора, а также фазовую модуляцию световых потоков, что в совокупности обеспечивает получение точной информации о величине действующей угловой скорости.

Сигнал фазовой модуляции формируется блоком БЦО-087, который вырабатывает модулирующее пилообразное напряжение, передаваемое на МИОМ. Частота пилообразного напряжения пропорциональна действующей угловой скорости.

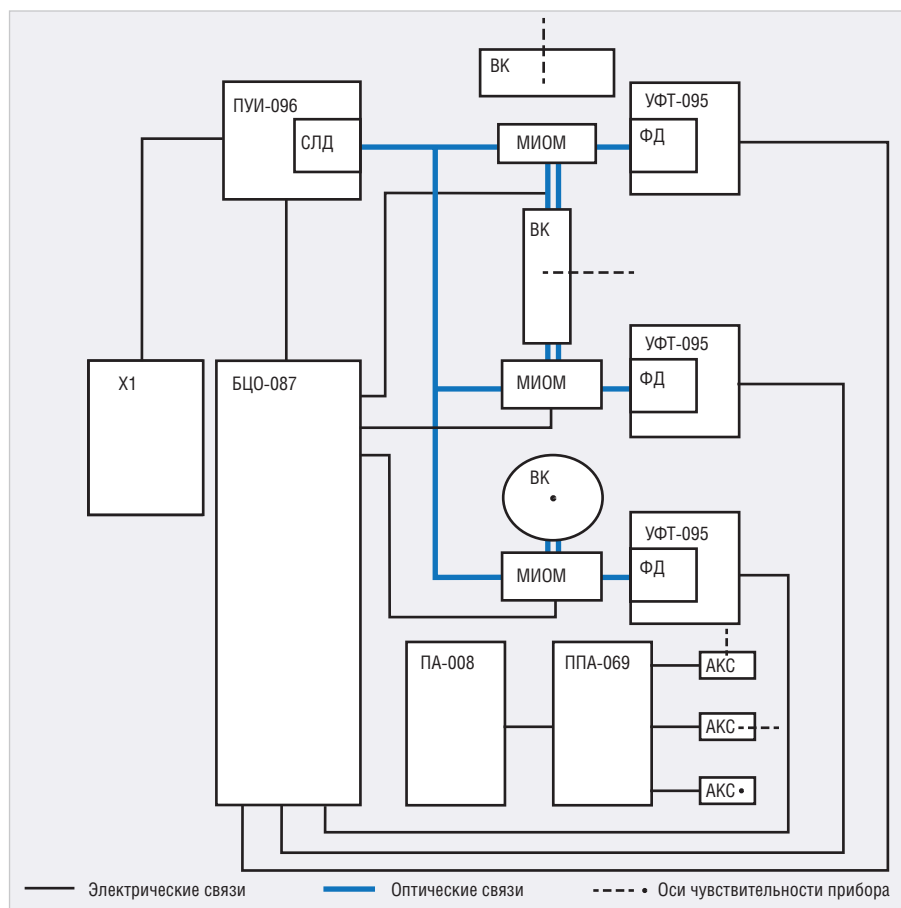


Рис. 1. Функциональная схема БЧЭ (без термодатчика)

В усилителе фототока УФТ-095 фотодиод осуществляет преобразование интерференционного оптического сигнала в электрический сигнал, который несёт информацию о величине и знаке действующей угловой скорости вокруг оси чувствительности данного канала.

Акселерометры предназначены для преобразования действующих вдоль их осей чувствительности линейных ускорений в электрический сигнал и выполнены на микроэлектромеханических системах (МЭМС).

Блок БЦО-087 осуществляет АЦ-преобразование сигнала УФТ, обработку цифрового сигнала для выделения информации об угловой скорости и линейном ускорении и формирует выходной информационный сигнал о величине и знаке проекции действующей угловой скорости и ускорения по каждой измерительной оси. Блок БЦО-08 также формирует модулирующее напряжение для фазовой модуляции световых потоков.

Плата акселерометров ПА-008 осуществляет АЦ-преобразование сигналов акселерометров и обеспечивает электрическую связь акселерометров и БЦО-087 по цепям питания и информационных сигналов.

Плата питания акселерометров ППА-069 формирует необходимые питающие напряжения акселерометров и обеспечивает коммутацию их информационных сигналов. Прибор представляет собой моноблок с размерами 111×62 мм. Масса прибора – 0,86 кг. Потребляемая мощность – не более 10 Вт.

Рассмотрим принцип работы прибора при измерении угловой скорости. В предлагаемом решении, где каналы измерения угловой скорости образуют трёхосный волоконно-оптический гироскоп, используется оптический эффект Саньяка. Измерение скорости вращения волоконно-оптическим гироскопом осуществляется с помощью кольцевого интерферометра, в котором распространение света по замкнутому пути обеспечивается катушкой из оптического волокна. Простейшая модель интерферометра Саньяка изображена на рисунке 2.

Свет входит в контур распространения ВК в точке М (точка ввода-вывода излучения) и расщепляется на два луча, распространяющихся в противоположных направлениях: луч 1 – по часовой стрелке, что совпадает с направлением вращения ВК со скоростью Ω ,

и луч 2 – против часовой стрелки. После обхода контура свет выводится из него в точке ввода-вывода, которая займёт новое положение М', определяемое углом разворота $\Omega\tau$ контура за время обхода τ . В общем случае времена обхода для встречных лучей τ_1 и τ_2 будут неодинаковыми, а их разность $\Delta\tau = \tau_1 - \tau_2$ будет определяться как:

$$\Delta\tau = \frac{\Omega \times R \times \tau_0}{c}, \quad (1)$$

где $\tau_0 = \frac{2\pi \times R}{c}$ – время обхода световым потоком контура при отсутствии вращения; c – скорость света.

Как видно из соотношения (1), разность времён обхода встречных лучей пропорциональна скорости вращения волоконного контура. Подставив значение τ_0 в формулу (1), получим:

$$\Delta\tau = \Omega \times \frac{2\pi \times R^2}{c^2}. \quad (2)$$

Произведение $\pi \times R^2$ в числителе (2) представляет собой площадь контура обхода светового потока. С увеличением числа витков катушки с оптоволоконном увеличивается и площадь контура при неизменных внешних геометрических размерах. Это приводит к уменьшению нижнего предела значений измеряемой скорости. Таким образом, повышается чувствительность волоконно-оптического гироскопа (ВОГ). Разность времён обхода двумя лучами вращающегося контура приводит к их взаимному фазовому сдвигу, что и используется для формирования полезного выходного сигнала.

Для измерения линейного ускорения в приборе используется принцип инерционности – стремления материального тела (чувствительного элемента акселерометра) сохранять неизменными параметры своего движения (состояние покоя) в инерциальной системе отсчёта. Принцип измерения линейного ускорения в приборе проиллюстрирован на рисунке 3.

При воздействии вдоль оси чувствительности линейного ускорения на инерционную массу будет действовать сила, прямо пропорциональная величине действующего ускорения. Инерционная масса, в свою очередь, стремясь сохранить своё состояние неизменным, воздействует на преобразующий элемент, который формирует электрический сигнал, пропорциональный действующему ускорению. Принцип работы преобразующего эле-

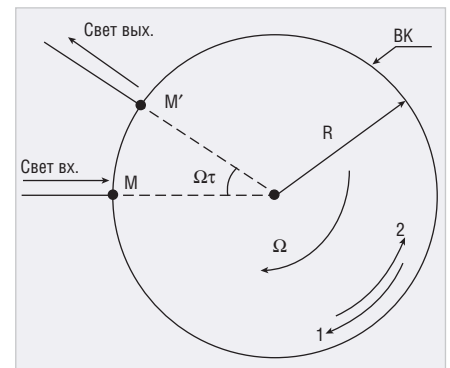


Рис. 2. Простейшая модель интерферометра Саньяка

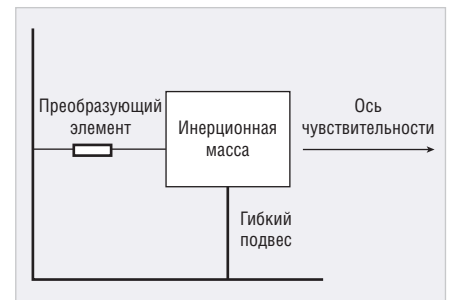


Рис. 3. Принцип измерения линейного ускорения в БЧЗ

мента может быть основан на изменении при действии силы:

- ёмкости конденсаторов, обкладки которых расположены на корпусе акселерометра и на чувствительном элементе;
- величины электрического заряда пьезоэлементов;
- частоты колебаний струны преобразующего элемента и т.д.

При подаче питания термоэлектрический модуль (элемент Пельтье) в составе СЛД начинает поддерживать номинальную температуру СЛД +20°C. СЛД формирует световой поток, оптическая мощность которого стабилизируется электронной схемой ПУИ-096. Свет излучается в оптоволокно – проводник оптического излучения. Через МИОМ, разделившись на два потока, излучение поступает во встречно направленные входы волоконного контура. При этом электроника БЦО-087 по сигналу с УФТ-095 формирует электрическое напряжение, прикладываемое к МИОМ для осуществления фазовой модуляции световых потоков.

При вращении вокруг осей чувствительности световые потоки, обладавая свойствами электромагнитных волн, будут иметь относительно друг друга фазовый сдвиг, вызванный эффектом Саньяка. Фазовая модуляция световых потоков позволяет компенсировать

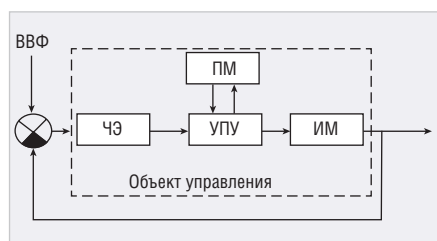


Рис. 4. Место БЧЭ в схеме классической автономной инерциальной системы управления

данный сдвиг. При этом наклон компенсирующего пилообразного напряжения, прикладываемого к МИОМ, несёт информацию о направлении вращения, а частота «пилы» – о величине скорости.

При включении прибора питание через платы ПА-008 и ППА-069 подаётся на акселерометры. При действии вдоль осей чувствительности прибора линейного ускорения инерционная масса в гибком подвесе воздействует на преобразующий элемент, вызывая изменение параметров преобразователя информации (расстояния между обкладками конденсатора, между пьезоэлементами, силы натяжения струны и т.д.). Это приводит к формированию полезного информационного сигнала о действующем линейном ускорении.

Сигнал, содержащий информацию о величине действующего линейного ускорения, через платы ПА-008 и ППА-069 подаётся на БЦО-087. БЦО-087 формирует выходной цифровой код, который в соответствии с протоколом информационного обмена может быть преобразован в величины угловой скорости вокруг осей чувствительности и линейного ускорения вдоль осей чувствительности.

Область применения прибора

Блок чувствительных элементов фактически является датчиком, преобразу-

ющим в пропорциональный электрический сигнал (цифровой код) физические величины: угловую скорость вращения относительно ортогональной системы координат и линейные ускорения, действующие вдоль осей чувствительности. Такая информация необходима для автономных инерциальных систем управления подвижными объектами различного назначения: судами, самолётами, космическими аппаратами, военной техникой. Возможность применения прибора на том или ином объекте определяется его устойчивостью к внешним воздействующим факторам, присутствующим при его эксплуатации. Место БЧЭ в схеме классической автономной инерциальной системы управления показано на рисунке 4.

При воздействии внешних возмущений объект управления будет отклоняться от заданной траектории движения. Отклонения от углового положения будут измерены оптическими каналами БЧЭ, и сигнал поступит на усилительно-преобразующее устройство (УПУ), представляющее собой ЭВМ, реализующую необходимые, заданные разработчиками законы управления. Управляющие сигналы поступают на исполнительный механизм (ИМ), представляющий собой рулевые машины, механизмы сопел реактивных двигателей и т.д. С помощью исполнительного механизма формируется механический момент, воздействующий на объект управления и возвращающий его на заданную траекторию. При возвращении на заданную траекторию сигнал с оптических каналов БЧЭ уменьшается и меняет свой знак, что приводит к изменению сигнала на исполнительный механизм и, как следствие, к уменьшению механического управляющего момента. При возвращении объекта управления на заданную


траекторию сигнал с БЧЭ условно будет равен нулю, и воздействие на объект со стороны ИМ прекратится. Условно – потому, что в зависимости от динамических характеристик системы управления объект управления может «гулять» внутри некой трубки возможных предельных отклонений. Таким образом, осуществляется так называемая угловая стабилизация объекта относительно центра масс. Управление движением центра масс осуществляется с помощью каналов измерения линейных ускорений БЧЭ.

Информация о величине и направлении действия линейных ускорений по осям объекта из БЧЭ поступает в УПУ, где производится оценка скорости, направления движения объекта и пройденного им расстояния. В зависимости от требуемого направления движения, параметров работы силовой установки и других факторов программный механизм может вносить корректировки в формируемые УПУ сигналы управления на ИМ. В конечном итоге результирующий сигнал с УПУ обеспечивает движение объекта управления по заданной траектории и угловую стабилизацию его положения.

Вопросы определения состава и методик проверки параметров, оптимизации состава приёмочных (приёмо-сдаточных и периодических) испытаний приборов данного типа рассмотрены в [1, 2].

Литература


1. Гаманюк Д.Н. Контрольные испытания датчиков угловой скорости и кажущегося ускорения. Современная электроника. 2015. № 7.
2. Гаманюк Д.Н., Гаманюк Н.Г. Контрольные испытания датчиков угловой скорости, выполненных на основе волоконно-оптических гироскопов. Современная электроника. 2016. № 6.



АРБЕЛОС
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ

РОССИЙСКИЙ РАЗРАБОТЧИК И ПРОИЗВОДИТЕЛЬ

- Разработка герметичных DC/DC-преобразователей для ответственных применений
- Разработка и производство мощных источников питания для авиационной аппаратуры
- Разработка заказных силовых и ВЧ/СВЧ-модулей
- Производство дискретных силовых компонентов в керамических корпусах
- Разработка и проведение испытаний изделий и компонентов силовой электроники



ProCHIP
POWERED BY ProSOFT

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИЛЕР

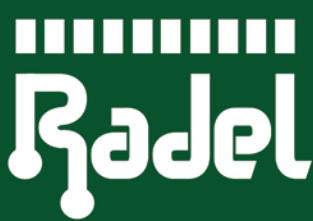
АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА

(495) 232-2522 • INFO@PROCHIP.RU • WWW.PROCHIP.RU



ПАТРОНАЖ ТПП РФ

21-23
СЕНТЯБРЯ 2020
САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
КВЦ «ЭКСПОФОРУМ»



XX МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА РАДИОЭЛЕКТРОНИКА & ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

- ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ И КОМПЛЕКТУЮЩИЕ
- ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ И ДРУГИЕ НОСИТЕЛИ СХЕМ
- СВЕТОДИОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
- РАЗРАБОТКА И ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ
- РОБОТОТЕХНИКА
- КОНСТРУКТИВЫ
- МАТЕРИАЛЫ
- ТЕХНОЛОГИИ
- ПРОМЫШЛЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ИНСТРУМЕНТЫ
- КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И ЛАБОРАТОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ



radelexpo.ru (812) 777-04-07



ОРГАНИЗАТОР ВЫСТАВКИ:



Реклама