

# ИНЕРЦИАЛЬНАЯ НАВИГАЦИОННАЯ СИСТЕМА БПЛА НА ОСНОВЕ MEMS – ДАТЧИКОВ

И. ШКОРУПЕЕВ, В. РАДЧИНСКИЙ, Г. СОРОКИН  
Технический Университет Молдовы

**Abstract:** The paper considers the application of different MEMS-sensors for flight control systems for UAVs. The scheme of the inertial navigation system based on the IC LSM303DLH and the necessary work to define the technical characteristics of the module are proposed.

**Аннотация:** В данной работе рассмотрено применение различных MEMS – датчиков для систем управления полетом БПЛА. Предлагается схема инерциальной навигационной системы на базе микросхемы LSM303DLH. Определено дальнейшее направление работ по определению технических характеристик разработанного устройства.

**Ключевые слова:** БПЛА, инерциальная навигационная система, MEMS – датчик.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Одно из важнейших направлений в современной авиации связано с разработкой беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). На данный момент БПЛА различных типов и назначения не только стоят на вооружении многих армий мира, но и начинают активно использоваться в гражданской сфере. На слайде представлены БПЛА различных фирм мини- и микроклассов.

В настоящее время БПЛА самолетного и вертолетного типа являются самыми распространенными по сравнению со всеми остальными.

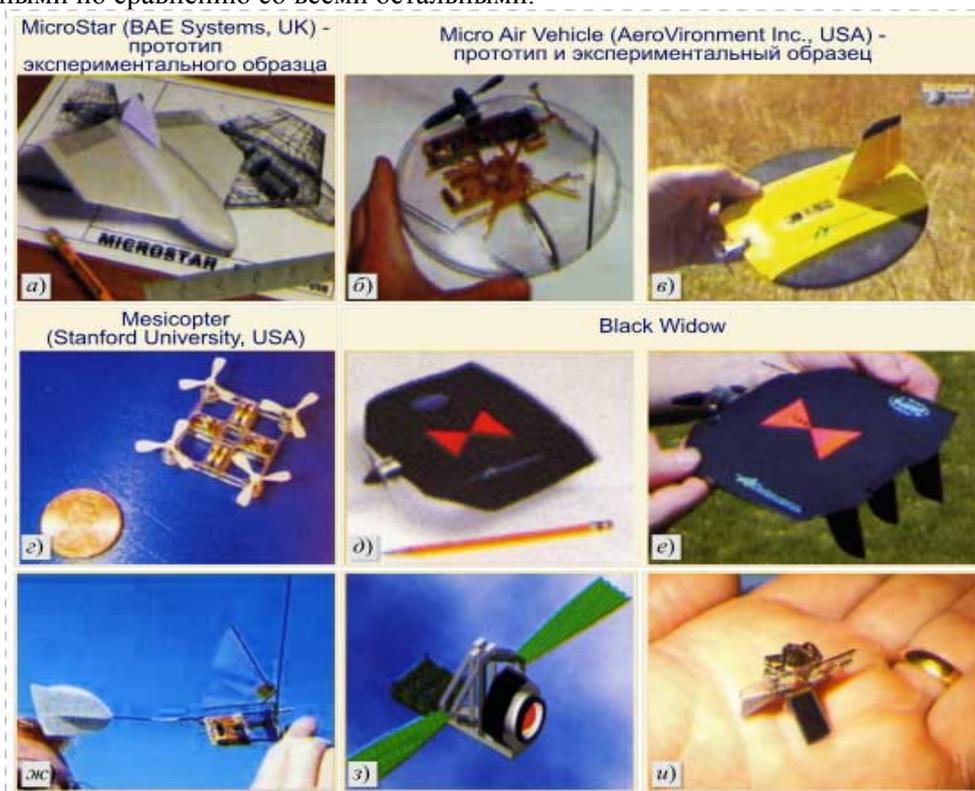


Рис. 1. Различные типы БПЛА

## 2. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Состав типовой системы навигации БПЛА можно описать следующим образом:

- бесплатформенная инерциальная навигационная система «ГИРОКУБ» (или набор датчиков угловых скоростей ( ДУСов) и акселерометров);
- GPS-приемник, который служит для определения координат аппарата, горизонтальной скорости и угла поворота траектории БПЛА;

- датчик абсолютного давления, использующийся для определения высоты (в качестве высотомеров);
- дифференциальный датчик давления (измеритель скорости движения БПЛА).

На данный момент перед нами стоит задача определения таких параметров координации ЛА, как крен- поворот относительно оси X; тангаж- поворот по оси Y и рыскание- угловые движения относительно вертикальной оси.

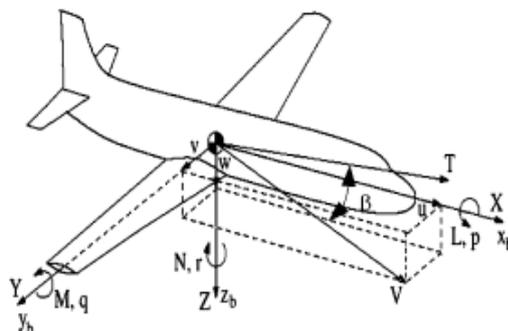


Рис. 2. Инерциальная навигационная система БПЛА

Появление MEMS – технологий (**Microelectromechanical systems**) позволило по новому подойти к проектированию инерциальной системы навигации (ИСН) микро-БПЛА.

На кафедре КПЭА решено разработать четырехвинтовой ЛА вертолетного типа, для ИСН ЛА прорабатывается применение следующих MEMS микросхем.

Гирискон по технологии iMEMS от Analog Devices. Микросхемы серии ADXRXXX, которые представляют собой датчик угловой скорости - гирискон. Он выполнен на одном кристалле кремния и включает в себя все необходимые электронные схемы формирования сигнала.

Основной элемент гирископа серии ADXRS — это закрепленная на гибких подвесках рамка, внутри которой совершает поступательные колебательные движения некая масса. Для определенности положим, что колебания происходят вдоль оси X. Подвесы рамки допускают ее колебания только вдоль оси Y. Колебания массы возбуждаются электростатически, с помощью гребенки зубцов.

На внешней поверхности рамки и на подложке расположены гребенки контактов, образующих систему плоских конденсаторов. При колебаниях рамки относительно подложки расстояния между этими зубцами изменяются, соответственно изменяется и емкость. Когда подложка неподвижна (или движется прямолинейно и равномерно), рамка не колеблется. Если же начать вращать такую структуру вокруг оси Z, то под действием силы Кориолиса возникнут вынужденные колебания рамки вдоль оси Y. Однако остается проблема компенсации линейных ускорений. В приборах серии ADXRS она решена за счет размещения на одной подложке двух одинаковых структур, в которых генерируются строго противофазные колебания. Измерительные сигналы, снимаемые с емкостей обеих структур, поступают в дифференциальную схему. При этом сигналы, вызванные колебаниями под воздействием ускорения Кориолиса, будут складываться, а синфазные составляющие, обусловленные линейными ускорениями, — вычитаться.

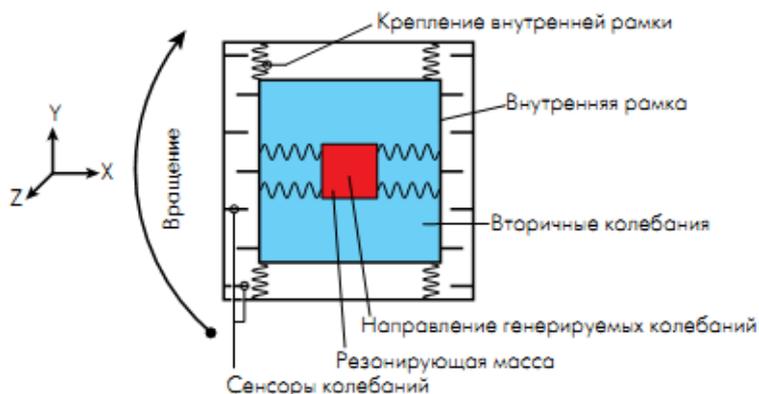


Рис 3. Принцип работы вибрационного MEMS-гирископа

Наличие внутри микросхемы двух перпендикулярно расположенных однотипных датчиков позволяет избежать влияния на выходной сигнал гироскопа вибрации и ускорения. Схемы формирования сигнала, расположенные на этом же кристалле, позволяют сохранить качество сигнала в условиях "шумного" окружения (электромагнитных помех, шумов цифровых схем и т.д.).

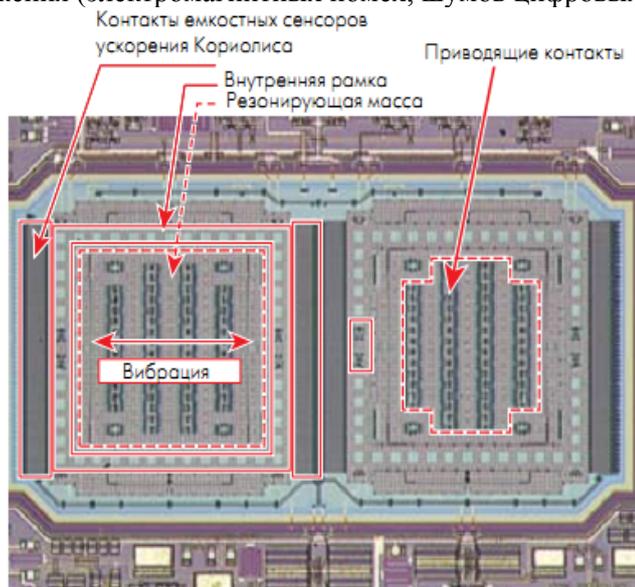


Рис. 4. Топология микросхемы ADXR150

Для схемы возбуждения чувствительных элементов требуется напряжение питания 14—16 В. Так как на микросхему подается напряжение 5 В, для получения более высокого напряжения питания на кристалле имеется схема "зарядового насоса" с переключаемыми конденсаторами. Если имеется внешнее напряжение питания величиной 14-16 В, то можно использовать его, и при этом избавиться от необходимости подключения нескольких дополнительных внешних конденсаторов.

Данный прибор представляет собой доступный гироскоп, имеющий встроенную схему автотестирования с цифровым управлением, которая работает при активном датчике. В составе микросхемы присутствует датчик температуры для осуществления калибровки устройства и компенсации погрешности, вызванной изменением температуры, также на кристалле имеется источник опорного напряжения.

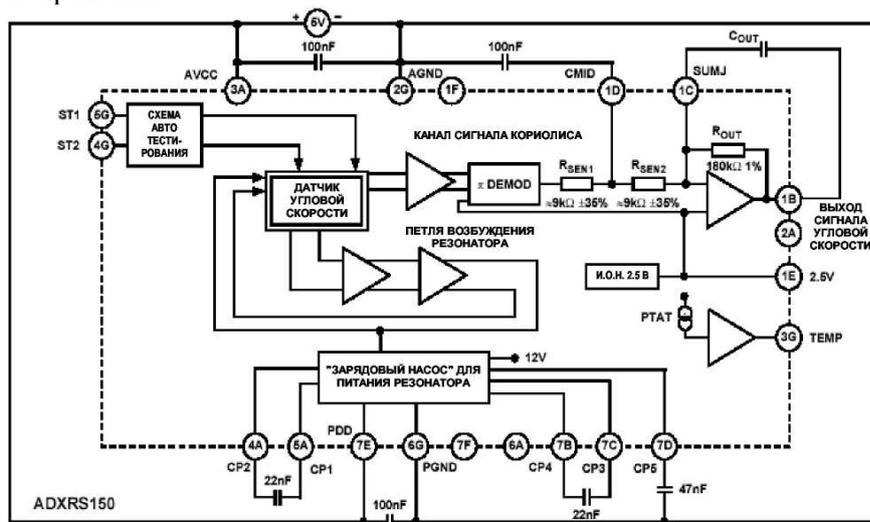


Рис. 5. Структурная схема гироскопа ADXR150

Намного большими возможностями обладает MEMS-микросхема LSM303DLH, которая выпускается фирмой «STMicroelectronics». Микросхема представляет собой трехосевой цифровой акселерометр, совмещенный с цифровым магнитометром.

Каналы измерения напряженности магнитного поля предусматривают работу в одном из семи программно-выбираемых диапазонов от  $\pm(0,13\dots0,81)$  мТл. Каналы измерения линейных ускорений поддерживают работу в одном из трех программно-задаваемых диапазонов  $\pm 2/\pm 4/\pm 8g$ . Вывод результатов измерений организован в 16- битовом формате. Таким образом, на этой микросхеме одновременно реализуется магнитный компас, указывающий направление движения БПЛА относительно северного полюса и гироскоп, определяющий пространственную ориентацию БПЛА.

### 3. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Разработанная электрическая принципиальная схема гироскопа и магнитного компаса на основе микросхемы LSM303DLH представлена на данном слайде. Питание микросхемы (VDD) LSM303DLH составляет +3В, а питание, необходимое для работы цепей акселерометра и магнитометра микросхемы равно +1,8В. Для уменьшения количества источников питания для получения напряжения питания +1,8В используется малогабаритный регулируемый стабилизатор напряжения, собранный на микросхеме LM317. Для защиты микросхемы от перенапряжений, которые могут возникнуть по шинам SDA и SDL, включены подтягивающие резисторы R3, R4.

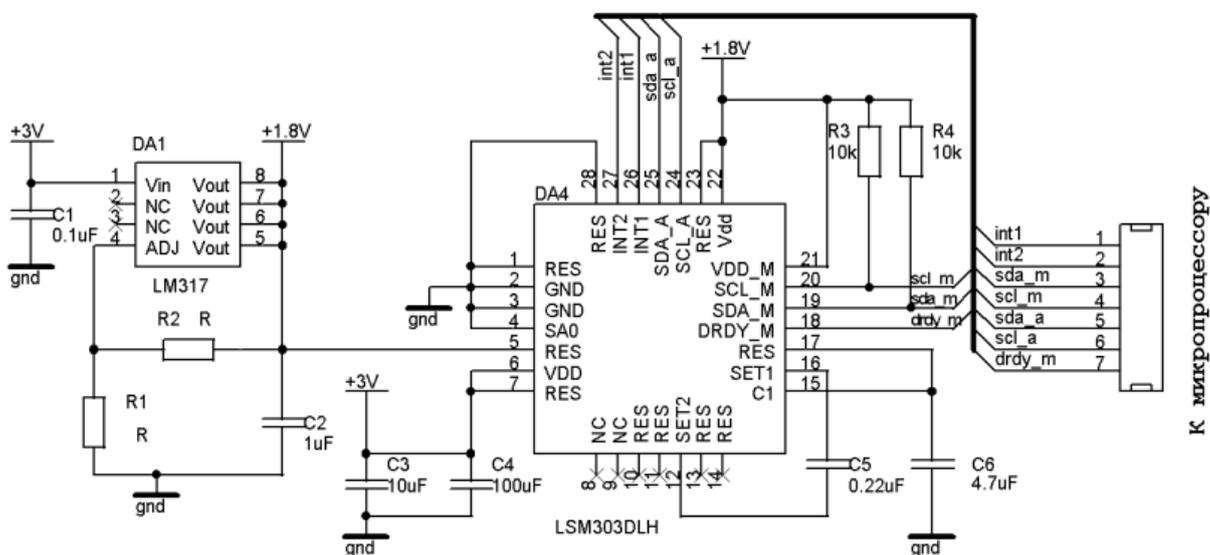


Рис. 6. Схема гироскопа и магнитного компаса на LSM303DLH

### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в данной работе было рассмотрено применение различных MEMS – датчиков для систем управления полетом БПЛА. Была разработана схема электрическая принципиальная гироскопа и магнитного компаса на основе микросхемы LSM303DLH. Было показано, что применение таких датчиков позволяет значительно уменьшить габаритные размеры и энергопотребление систем управления движением БПЛА. В настоящее время разрабатывается печатная плата устройства для экспериментального исследования характеристик модуля.

### 5. БИБЛИОГРАФИЯ

1. Robert Boque. MEMS sensors: past, present and future, Sensor Review, vol.27 Iss:1, 2007, pp.7-13.
2. Распопов В.Я. Микромеханические приборы. - М.:Машиностроение,2007, - 400с.
3. Староверов К. MEMS – датчики движения STMicroelectronics: акселерометры и гироскопы, //Электронные компоненты, 2009, №12,- с.53-57.
4. Староверов К. Новые MEMS – датчики STMicroelectronics, Новости электроники, 2010, №6, - с.24-27.
5. А.А. Воевода, А.А.Солдаткин. Разработка функциональной схемы управляющей электроники для модели вертолёта с четырьмя несущими винтами. Сборник научных трудов НГТУ, 2010, №3, -с.1-12.
6. [www.stmicroelectronics.com](http://www.stmicroelectronics.com).