

# Уроки импортозамещения от MT Microsystems: МЭМС-компоненты для навигации и связи

Александр Бекмачев (bae@favorit-ec.ru)

Компания MT Microsystems с 25-летним опытом разработки и производства инерциальных МЭМС-компонентов открывает российским потребителям новые возможности использования акселерометров, гироскопов, БИНС, узлов АФАР для ответственных применений. Собственный девиз «Постигать мир и вести за собой к будущему» воплощается компанией буквально, об этом говорят её производственные и рыночные успехи.

Один из столпов китайской индустрии МЭМС (Микроэлектромеханические системы) компонентов для инерциальных измерительных систем и средств радиосвязи, компания MT Microsystems более двух десятилетий ведет собственные разработки и развивает полупроводниковые технологии для обеспечения импортозамещения. Показателем признания успехов служит председательство компании в национальной Ассоциации производителей МЭМС-компонентов. Основной рыночной устойчивости производителя служит штат квалифицированных сотрудников, число которых превысило в 2021 г. 200 человек, а также полный собственный производственный цикл на промышленной площадке в г. Шицзячжуан в провинции Хэбэй континентальной части КНР. На заводе предприятия функционирует производство МЭМС на базе 6" пластин КНИ (кремний на изоляторе) с про-

ектными нормами 0,5 мкм. В конце производственной цепочки происходит корпусирование кристаллов в ИМС (интегральная микросхема) для поверхностного монтажа, а также сборка и калибровка функционально законченных модулей БИНС (бесплатформенная инерциальная навигационная система) на основе собственных ИМС.

Основные компетенции компании: инерциальные МЭМС-датчики и модули для навигации, разнообразные автомобильные датчики, датчики давления, МЭМС-ключи для радиопередающих устройств.

## Главные рынки, для которых работает MT Microsystems:

- национальная космическая программа и авиация;
- подвижной состав и инфраструктура высокоскоростных железных дорог;
- автомобилестроение;

- беспилотная навигация и системы помощи при вождении для наземного транспорта;
- геофизические исследования, системы внутрискважинной навигации и диагностики при бурении и добыче;
- сейсмография и промышленный вибромониторинг;
- потребительская электроника: Интернет вещей, умные дома, умная бытовая техника;
- системы радиосвязи и радиолокации диапазонов ВЧ/СВЧ.

## Российские проекты, реализованные при участии ООО «Фаворит-ЭК», которые стали возможны благодаря применению продукции MT Microsystems:

- блоки навигации;
- устройства стабилизации полезной нагрузки;
- системы трекинга / контроля статуса подвижного состава;
- гироинклинометрические системы для MWD/LWD.

## Обзор продукции

Компания MT Microsystems провела системную работу по импортозамещению, создав базовую линейку ИМС с чувствительными элементами и формирователями сигналов и стандартных

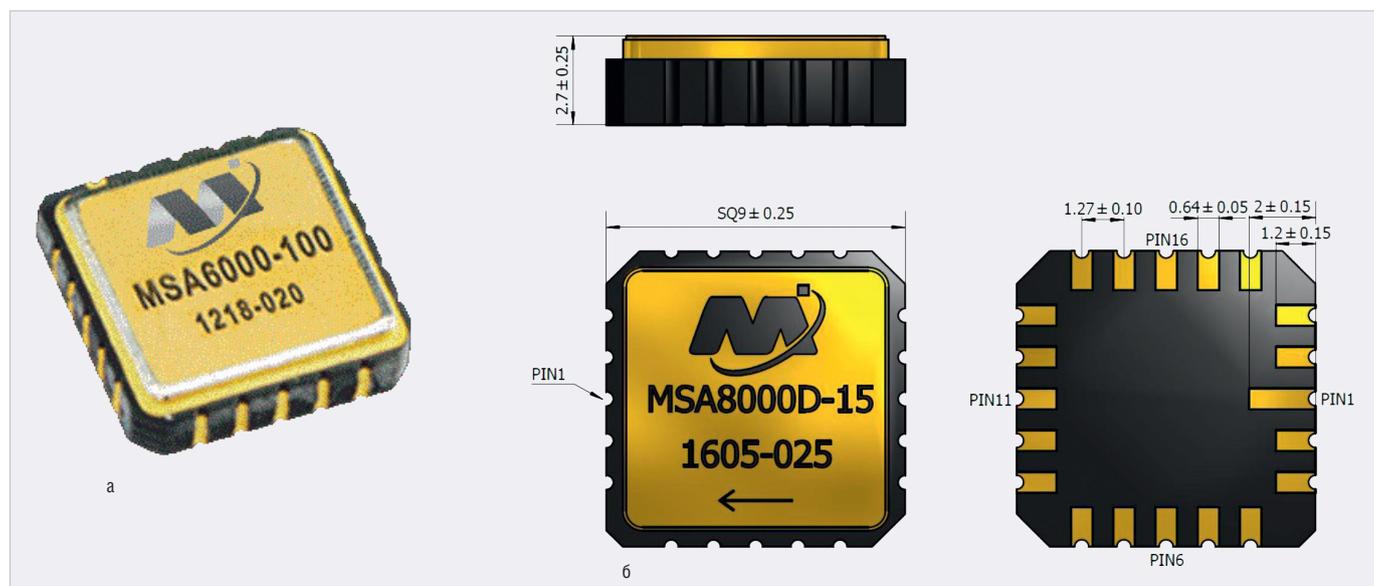


Рис. 1. ИМС акселерометров: а) внешний вид; б) габаритные размеры

интерфейсов. На основе собственной компонентной базы создаются и более сложные системы с использованием продукции сторонних производителей, например, комплексные инерциально-спутниковые блоки навигации.

### Акселерометры

Заметным успехом MT Microsystems стало создание ИМС-акселерометра серии MSA6000 для диапазонов измерения от ±2g до ±200g в керамическом корпусе LCC20 – аналога серии MS9000 Safran-Colibrys. Впоследствии, с внедрением ASIC, появилась версия акселерометра в том же корпусе с цифровым интерфейсом – MSA8000D, рис. 1. Акселерометры проходят заводскую калибровку для обеспечения стабильности рабочих характеристик при рабочих температурах –55...+125°C и сохраняют параметры при одиночных ударных воздействиях до 10 000g. Сравнение с ближайшим аналогом приведено в табл. 1.

Для лабораторных исследований, текущего контроля режимов работы промышленного оборудования, испытаний авиационной техники, включая вертолёты, диагностики высот-

Таблица 1. Сравнительные характеристики ИМС-акселерометров

Параметр	Единица измерения	Название, производитель	
		MS9000 Safran Sensing Technologies Switzerland SA (Colibrys)	MSA8000D MT Microsystems Co., Ltd.
Тип корпуса	–	LCC20	LCC20
Диапазон измерений	g	±2...±200	±2...±200
Разрешающая способность	mg	<0,1...11	0,05...10
Интерфейс	–	аналоговый, ратиометрический	цифровой, SPI
Направление оси чувствительности		ортогонально	планарно
Дрейф нуля на температурном диапазоне	mg	<10...<1000	20...100
Температурный коэффициент смещения	mg/°C	<0,1...<10	≤0,1...≤10
Температурная стабильность масштабного коэффициента (МК)	ppm/°C	100	≤100...≤200
Нелинейность	% от МК	<0,8...<1	<0,1...<0,5
Полоса пропускания (-3 дБ)	Гц	от 0 до ≥ 100	147
Резонансная частота	кГц	1,4...26	1,3...11,4
Диапазон рабочих температур	°C	-55...+125	-55...+125
Стойкость к ударам	g	6000 (полусинус, 0,15 мс, одиночный, в 1 напр.)	10 000 (полусинус, 2 мс, 3 раза в каждом напр.)
Напряжение питания	В	2,5...5,5	5,0 ± 0,1
Потребляемая мощность	мВт	2...7,5	100

# МЫ РАСТИМ БУДУЩЕЕ...

ЭЛЕКТРОННАЯ КОМПАНИЯ  
**Фаворит-ЭК**

## ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ

Актуальный склад - смотрите онлайн

Россия, 105318, Москва, Семеновская площадь, д.7, e-mail: info@favorit-ec.ru, тел/факс: +7(495) 627 76 24, www.favorit-ec.ru



Рис. 2. Акселерометры в металлических корпусах: а) MSA1000; б) MSV3100A; в) MSV3070; г) MSV1210B; д) MSV1250B

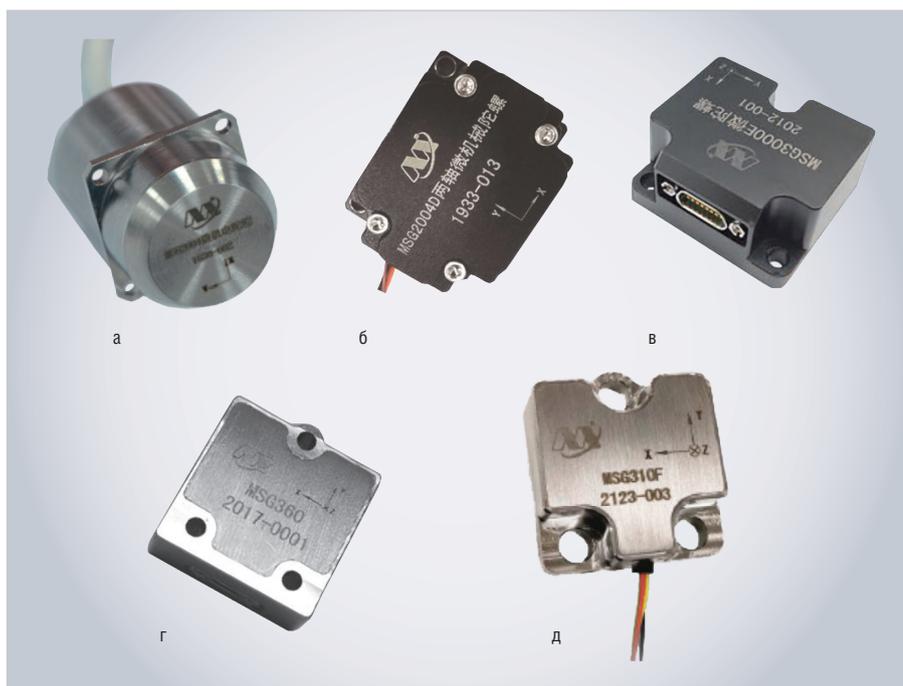


Рис. 4. Гироскопы в металлических корпусах: а) MSG2004F; б) MSG2004D; в) MSG3000E; г) MSG360; д) MSG310F

ных зданий и сооружений, плотин, мостов, железнодорожной инфраструктуры выпускаются виброакселерометры в металлических корпусах индустриального стандарта с унифицированными системами крепления и интерфейсами. Малошумящие акселерометры MSA1000(A), MSV3100(A), MSV3070/3071, MSV1210B, MSV1250B имеют от 1 до 3 измерительных осей и обеспечивают регистрацию сигналов в полосе от 0 до 10 000 Гц для диапазона  $\pm 2g \dots \pm 200g$  у разных моделей, рис. 2.

### Инклинометры

Специализированное решение предлагается для двухплоскостной стабилизации подвижных спутниковых антенн, узлов радарных устройств, платформ с промышленным, геофизическим и другим оборудованием, видеотеодолитов и оборудования сходного назначения, а также для контроля и компенсации крена вагонов высокоскоростных поездов. Двухосевые термокомпенсированные инклинометры MTS2006 имеют несколько исполнений с диапа-



Рис. 3. Внешний вид инклинометра MTS2006

зонами измерений от  $\pm 5^\circ$  до  $\pm 75^\circ$  с точностью  $0,01^\circ$ , оснащаются интерфейсами RS-232, RS-422, RS-485 скоростью обмена до 115 200 бит/с. Компактный корпус  $33 \times 35 \times 17,5$  мм обеспечивает уровень защиты IP68 (рис. 3).

### Гироскопы (ДУС)

Функционально законченные датчики угловых скоростей (ДУС) представлены сбалансированной линейкой высокостабильных одно-, двух- и трёхкомпонентных гироскопов в прочных металлических корпусах. Базовые версии ДУС охватывают диапазон угловых скоростей  $\pm 450^\circ$  с возможностью расширения до  $\pm 3600^\circ$ , полоса пропускания может быть расширена с базовой 150 Гц до 250 Гц. Лучшие показатели нестабильности смещения, которые обеспечиваются в диапазоне рабочих температур  $-45 \dots +85^\circ\text{C}$ , составляют  $0,8 \dots 3,0^\circ/\text{ч}$  для различных моделей. Для внешней термокомпенсации в конструкциях ДУС предусмотрены встроенные датчики температуры. В стандартном исполнении все блоки имеют интерфейс RS-422. Внешний вид гироскопических блоков MSG2004F в цилиндрическом корпусе с фланцем  $22 \times 22 \times 30,5$  мм и MSG2004D, MSG3000E, MSG360, MSG310F в прямоугольных корпусах объёмом от 4,1 до  $37,2 \text{ см}^3$  показан на рис. 4.

Особого внимания заслуживает одноосный гироскоп MSG1100D в компактном стальном корпусе, специальная версия которого имеет подтверждённую многолетнюю историю применения в РФ, рис. 5. В заданных условиях применения этот датчик успешно конкурирует с однокомпонентной версией Sensorog STIM210, сравнение приведено в табл. 2.

Для замены 2- и 3-компонентных версий STIM210 стоит рассмотреть модуль в аналогичном корпусе – MSG3000E.



Рис. 5. Внешний вид гироскопа MSG1100D(C)-300



Рис. 6. Инерциальные модули MSI310, MSI313, MSI362, MSI3000F

### Инерциальные модули

Инерциальные измерительные модули MT Microsystems имеют преимущественно 6-компонентную конфигурацию и также созданы на основе собственных чувствительных МЭМС-элементов. Модель начального уровня MSI310, уже известная российским потребителям, в своё время была создана как прямая замена Analog Devices ADIS16465-2 (табл. 3). Модули MSI313, MSI362, MSI370A в корпусах близкого габарита и веса имеют нарастающую от модели к модели точность и стабильность, что позволяет заказчику выбирать для массовых применений подходящую пропорцию цена/производительность (рис. 6). Старшей моделью в настоящий момент является MSI3000F, эксплуатационные и весогабаритные характеристики которой наиболее близки к Sensoror STIM300, см. табл. 4.

На основе базовых моделей создаются специальные решения, например, для железнодорожной техники.

Таблица 2. Сравнительные характеристики однокомпонентных ДУС

Параметр	Единица измерения	Название, производитель	
		STIM210, 1 компонент Safran Sensing Technologies Norway AS (Sensoror)	MSG1100D(C)-300 MT Microsystems Co., Ltd.
Размеры корпуса	мм	38,6×44,8×21,5	20×22×10,2
Диапазон измерений	°/с	±400	±300 (±100 ... ±5000)
Интерфейс	–	RS-422	SPI / RS-422
Дрейф нуля	°/ч	4...10	≤10
Случайный угловой уход	°/√ч	0,15	≤0,2
Нелинейность МК	ppm или % от МК	25 ppm	≤0,1 % от МК
Полоса пропускания (-3 дБ)	Гц	От 16 до 262	120
Диапазон рабочих температур	°C	-40...+85	-40...+85
Стойкость к ударам	g	1500 (полусинус, 0,5 мс в любом направлении)	2000
Напряжение питания	В	5,0 ± 0,5	5,0 ± 0,1
Потребляемая мощность	мВт	<1500	<150

Табл. 3. Сравнительные характеристики инерциальных измерительных модулей MSI310 и ADIS16465-2

Параметр	Единица измерения	ADIS16465-2 Analog Devices	MSI310 MT Microsystems Co., Ltd.
Интерфейс	–	SPI	SPI / RS-422
Напряжение питания	В	3,0...3,6	4,5...5,5
Потребляемый ток	мА	44...55	28 ± 5
Диапазон рабочих температур	°C	-40...+105	-40...+85
Материал корпуса	–	алюминиевый сплав	SUS304 (08X18H10)
Размеры корпуса	мм	22,4 × 22,4 × 9,0	22,4 × 22,4 × 9,0
Стойкость к ударам	g	2000	2000
Гироскопы			
Диапазон измерений	°/с	±500	±450
Полоса пропускания (-3 дБ)	Гц	550	≥100
Изменение масштабного коэффициента (МК) в температурном диапазоне (-40 ... +85°C, 1σ)	%	±0,3	±0,1
Погрешность несоосности (1σ)	°	±0,05	±0,05
Нелинейность (на полном диапазоне)	% от МК	0,2	0,04
Нестабильность нулевого сигнала (1σ)	°/ч	2,5	10
Случайный угловой уход (1σ)	° / √ч	0,15	0,4
Температурная погрешность (-40 ... +85°C, 1σ)	°/с	±0,2	±0,2
Погрешность от линейного ускорения	°/с / g	0,009	0,005
Акселерометры			
Диапазон измерений	g	±8	±15
Полоса пропускания (-3 дБ)	Гц	600	≥100
Изменение масштабного коэффициента (МК) в температурном диапазоне (-40 ... +85°C, 1σ)	%	±0,1	±0,1
Погрешность несоосности (1σ)	°	±0,05	±0,05
Нелинейность (на полном диапазоне)	% от МК	0,5...1,5	0,03
Нестабильность нулевого сигнала (1σ)	мкг	3,6	70
Случайный уход по скорости (1σ)	м/с / √ч	0,012	0,07
Температурная погрешность (-40 ... +85°C, 1σ)	mg	±1	±3

Табл. 4. Сравнительные характеристики инерциальных измерительных модулей MSI3000F и STIM300

Параметр	Единица измерения	STIM300 Safran Sensing Technologies Norway AS (Sensoror)	MSI3000F MT Microsystems Co., Ltd.
Интерфейс	–	RS-422	RS-422
Частота дискретизации	отсчётов/с	≤2000	1000
Напряжение питания	В	5,0±0,5	5,0±0,3
Потребляемый ток	мА	300	300
Материал корпуса	–	Алюминиевый сплав	Алюминиевый сплав
Размеры корпуса	мм	38,6×44,8×21,5	38,6×44,8×20,5
Диапазон рабочих температур	°C	-40 ... +85	-40 ... +85
Стойкость к ударам	g	1500	≥2000
Несоосность чувствительных элементов	мрад	1	3
Гироскопы			
Диапазон измерений	°/с	±400	±450
Полоса пропускания (-3 дБ)	Гц	16 ... 262	150 (10 ... 250)
Изменение масштабного коэффициента в температурном диапазоне	ppm	±500	≤20
Нестабильность нулевого сигнала (1σ)	°/ч	0,3	0,8
Случайный угловой уход (1σ)	° / √ч	0,15	0,1
Акселерометры			
Диапазон измерений	g	±10 (±5; ±30; ±80)	±15
Полоса пропускания (-3 дБ)	Гц	90 ... 214	150 (10 ... 250)
Изменение масштабного коэффициента в температурном диапазоне	ppm	100	≤100
Нестабильность нулевого сигнала (1σ)	mg	0,05	0,015
Случайный уход по скорости (1σ)	м/с / √ч	0,07	0,015



Рис. 7. Блоки датчиков для железнодорожной техники: а) MSV3009; б) MSVT1101A-100

Трёхкомпонентный виброакселерометр MSV3009 призван контролировать устойчивость колёсной тележки и деформацию корпуса вагона. Конструкция датчика в корпусе уровня IP68 обеспечивает защиту от ЭМП, механических повреждений и отвечает требованиям эксплуатации на железных дорогах. Комбинированный датчик MSVT1101A-100 для локомотивов одновременно измеряет вибрацию и температуру в месте установки для обеспечения безаварийных режимов работы приводных механизмов (рис. 7). В обоих датчиках предусмотрена цепь автоматического самотестирования.

### БИНС с ГНСС

Весьма значительным успехом компании стало создание БИНС MNV420A со встроенным мультисистемным приёмником сигналов глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС). Характеристики блока позволяют использовать его в системах помощи при вождении ADAS на дорогах общего пользования и обеспечивают выполнение требований по автономному вождению уровней L3, L4. Одна из версий MNV420 получила признание государственной автомобилестроительной компании KHP SAIC Motor Corporation и интегрирована в легковой автомобиль Marvel R, магистральный автономный грузовик и в перспективный электрический внедорожник. Благодаря переносимости решения и наличию универсального интерфейса CAN блок может быть встроен в систему управления карьерной, строительной, сельскохозяйственной и прочей



Рис. 8. Варианты исполнения корпуса блока инерциально-спутниковой навигации MNV420A

Табл. 5. Основные характеристики навигационной системы MNV420A

Характеристика	Параметр	Значение	Единица измерения
Комбинированный режим ИНС+ГНСС (точность определения)	Крен / тангаж (1σ)	0,1	°
	Курс (1σ)	0,2 / базовая линия 1 м	°
	Положение (1σ)	1,5 м (SPP), 2 см + 1 ppm (RTK)	–
	Скорость (1σ)	0,03	м/с
Автономное навигационное решение, только ИНС	Погрешность определения положения при потере сигнала ГНСС (10 с)	0,2	м
	Погрешность определения положения при потере сигнала ГНСС, пробег/ продолжительность (1 км / 2 мин)	0,2	%
	Погрешность определения курса при потере сигнала ГНСС (1 мин)	0,15	°
Гироскоп	Диапазон измерений	±450	°/с
	Стабильность нуля	10	°/ч
	Нестабильность смещения нуля	2	°/ч
	Смещение нуля в температурном диапазоне	0,1	°/с
	Нелинейность масштабного коэффициента	100	ppm
Акселерометр	Диапазон измерений	±8	g
	Стабильность нуля	0,2	mg
	Нестабильность смещения нуля	0,02	mg
	Смещение нуля в температурном диапазоне	2	mg
	Нелинейность масштабного коэффициента	200	ppm
Общие	Напряжение питания	9...24	В
	Потребляемая мощность	≤6	Вт
	Габаритные размеры	155 × 81 × 35	мм
	Вес	<450	г
	Тип интерфейса	RS-422, CAN	
	Частота обновления данных	100	Гц
	Скорость передачи данных	RS-422, 230 400; CAN, 500K	бит/с
	Диапазон рабочих температур	-40...+85	°С
	Диапазон температур хранения	-50...+105	°С

мобильной техникой с разной степенью автономности (рис. 8). Дополнительный интерфейс RS-422 230 400 бод при частоте обновления данных 100...200 Гц обеспечивает выполнение и более сложных задач, связанных со стабилизацией полезной нагрузки, навигацией и ориентированием в полёте. Основные характеристики приведены в табл. 5.

### Радиочастотные компоненты

МЭМС-изоляторы серии SiS и циркуляторы серии SiDCR с установленным нижним пределом рабочей температу-

ры –55°С рассчитаны на работу в радиотрактах диапазонов С, X, Ku, К, Ka на частотах от 6 до 38 ГГц.

Основные параметры для разных моделей:

- размер на плате: от 4,5×5 мм до 8×10 мм при высоте 2,7...3 мм;
- коэффициент стоячей волны (VSWR): 1,25...1,4;
- вносимые потери: 0,5...0,8 дБ;
- величина развязки (ISO): 11...20 дБ.

Внешний вид циркуляторов и изоляторов в исполнении для поверхностного монтажа приведён на рис. 9.

За пределами нашего обзора останутся другие компоненты MT Microsystems, такие как датчики температуры, разнообразные МЭМС-датчики давления для воздушных и гидравлических магистралей в промышленном оборудовании, авиационной, морской, железнодорожной технике, энергетике, системах вентиляции, отопления, кондиционирования, в коммунальном хозяйстве, транспортной и логистической инфраструктуре, для систем распределения энергоресурсов и пр.

Особого внимания заслуживает продукция MT Microsystems для автомобильной техники: датчик массового расхода воздуха (ДМРВ), датчик дифференциального давления, датчик абсолютного давления во впускном коллекторе – ДАД или MAP, датчик давления паров топлива, датчик давления гидравлической/тормозной системы, датчик дав-

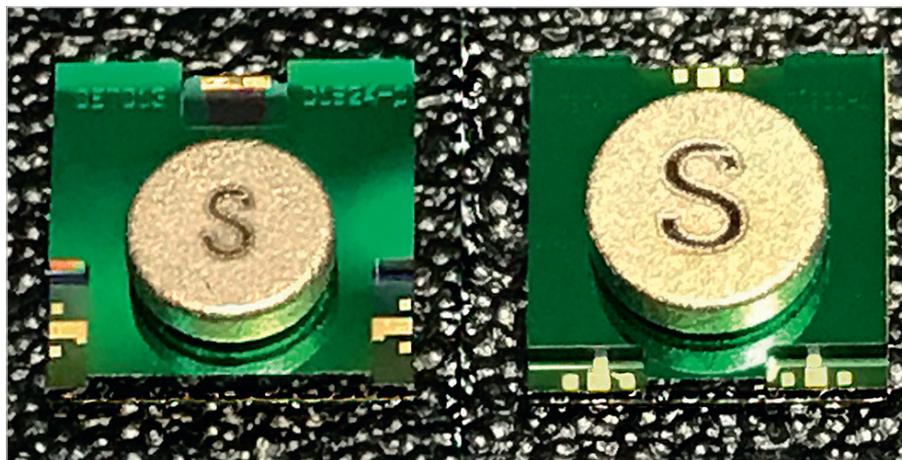


Рис. 9. Внешний вид МЭМС-циркуляторов и изоляторов

ления кондиционера, датчик обратного давления выхлопных газов, датчик температуры масла и охлаждающей жидкости. Качество продукции подтверждено действующим Сертификатом № 0414485

соответствия стандарту IATF16949:2016 управления качеством для поставщиков автомобильной промышленности.

Это объёмная тема, и она заслуживает отдельной публикации. 

## НОВОСТИ МИРА

### Воронежский ARM-микрочип K1921BK01T поставят управлять Единой энергосистемой электрических речных трамвайчиков

Электросуда с микрочипами K1921BK01T на борту уже курсируют по Москве-реке в опытном режиме.

О том, что после 16-летнего перерыва возобудятся регулярные перевозки пассажиров по Москве-реке, стало известно около года назад. Но это не просто возвращение легендарного речного трамвайчика: речные маршруты будут интегрированы в общую систему городского пассажирского транспорта, а регулярные рейсы впервые в мире будут осуществляться электрическими речными судами в круглогодичном режиме. Эти экологичные речные трамвайчики получат имена московских рек. Имя первого из них – «Синичка» (в честь реки, протекающей через Соколиную Гору, Лефортово и Басманный) – выбрали пользователи проекта «Активный гражданин». Об этом CNews сообщили представители АО «НИИЭТ».

Но за романтикой речных судов скрываются сложные и ответственные технологии. Среди них – управление силовыми установками, энергосистемой, электроприводами рулей и т. п. Для решения этой задачи необходим надёжный микрочип, и на эту роль в новых электрических судах было

выбрано изделие воронежского НИИ электронной техники K1921BK01T.

Данный 32-разрядный микрочип, основанный на ядре ARM Cortex-M4F, подходит для управления электроприводами и электрическими силовыми установками благодаря расширенным функциям и большому набору интерфейсов, включая девять модулей ШИМ, из которых шесть – с поддержкой режима высокого разрешения; шесть модулей захвата/сравнения; три аналоговых компаратора. Также микросхема имеет два порта CAN 2.0b, интерфейсы USB 2.0 Device/Host с физическим уровнем PHY, Ethernet 10/100 Мбит/с, UART, SPI, I<sup>2</sup>C.

Микрочип работает на тактовой частоте 100 МГц, снабжён Flash-памятью ёмкостью 1 МБ, встроенным ОЗУ 192 КБ и имеет в своём составе двенадцать двухканальных 12-разрядных АЦП. Выпускается микросхема в пластиковом корпусе типа QFP-208.

Благодаря широкому функционалу ИС K1921BK01T для решения задач, возложенных на них в рамках аппаратуры управления энергосистемой и электроприводами электрического судна, понадобилось всего два таких микрочипа, которые вошли в состав аппаратуры, разработанной петербургской компанией «Русское электротехническое общество».

Помимо систем управления, ИС K1921BK01T может применяться в средствах измерения, связи, наблюдения, безопасности, автоматизации производства,

в медицинской технике, энергетике и других областях.

«То, что наш микрочип был выбран в качестве основы для устройств управления энергосистемой и электроприводами инновационного электрического речного трамвайчика, – с одной стороны, большая честь для нас, а с другой – достойная оценка нашего решения. Транспорт вообще и речные суда в частности – это область техники, в которой сегодня очень многое зависит от электроники, в том числе жизнь и безопасность людей, поэтому к надёжности электронных компонентов здесь предъявляются очень жёсткие требования. Мы гордимся, что наш микрочип подтвердил соответствие этим высоким стандартам», – сказал коммерческий директор АО «НИИЭТ» Владимир Малеев.

Электросуда с микрочипами K1921BK01T на борту уже курсируют по Москве-реке в опытном режиме. Ожидается, что движение по двум маршрутам («Фили – Киевский вокзал» и «Печатники – Автозаводский мост») откроется в этом году. Сначала на маршрутах будут работать девять таких судов, способных перевозить до 80 пассажиров (они будут снабжены 50 сидячими и 30 стоячими местами), затем количество судов планируется довести до 21. Также этот проект имеет хороший потенциал для масштабирования. В частности, существуют планы запустить в будущем подобные электрические речные трамвайчики в Нижнем Новгороде.

[russianelectronics.ru](http://russianelectronics.ru)