

Новые МЭМС-акселерометры Safran Colibrys для геофизического оборудования

Александр Бекмачев (bae@favorit-ec.ru)

В статье описаны особенности конструкции, преимущества и способы интеграции акселерометров Safran Colibrys новых серий в оборудование для нефтегазодобычи, каротажа и геологоразведки – MWD/LWD

Современное геологоразведочное и технологическое оборудование для нефтегазодобычи уже практически невозможно представить без технических средств определения пространственного положения скважинного инструмента. В общем случае, навигационный модуль содержит блок акселерометров, гироскопов и/или магнитометров со схемой нормирования и преобразования сигналов для дальнейшей передачи по каналам телеметрии. Кластер из акселерометров – датчиков линейного перемещения с тремя взаимно ортогональными осями чувствительности выдаёт первичную информацию о положении, направлении и скорости, которая дополняется и корректируется на основе данных датчиков углового положения, электронных компасов (см. рис. 1).

Одним из заметных мировых производителей микроэлектромеханических систем (МЭМС) акселерометров для тяжёлых условий эксплуатации в широком диапазоне рабочих температур является научно-производственная компания Safran Colibrys, чья продукция уже продолжительное время применяется в навигационном, технологическом, геофизическом оборудовании не только за рубежом, но и в России.

Safran Colibrys – передовое исследовательское и технологическое предприятие. Отпочковавшаяся в 2001 году от Швейцарского института электроники и микроэлектроники как производственное предприятие полного цикла, Colibrys SA сосредоточилась на прикладных исследованиях, разработке и производстве микромеханических акселерометров ёмкостного типа по собственной объёмной технологии 3D MEMS. Это позволило компании в короткие сроки стать квалифицированным поставщиком компонентов для применения в авиационно-космической, военной, железнодорожной, буровой и горнопроходческой технике, в сейсмологических, технологических, охранных системах и в системах промышленной безопасности.

Важным этапом в истории фирмы стало строительство и запуск в эксплуатацию в 2014 году собственного производственного комплекса в г. Ивердон-ле-Бен (Швейцария), что позволило объединить производство чувствительных элементов и специализированных управляющих микросхем для них (ASIC) и перейти, в итоге, к производству датчиков конструкции «система в корпусе». После вхождения в состав высокотехнологичной группы Safran в резуль-



тате покупки предприятием Safran Electronics & Defense (новое название предприятия Sagem с 2016 г.), компания была переименована в Safran Colibrys SA.

Отечественным потребителям хорошо знакомы акселерометры серий MS9000 и VS9000, причём первые из них, с диапазоном измерений $\pm 1g$ и $\pm 2g$, активно применяются в составе скважинных инклинометров.

На основе анализа откликов разработчиков и опыта эксплуатации акселерометров в составе оборудования производитель усовершенствовал конструкцию и технологию производства датчиков, в результате чего рынку были предложены новые модели: высокоточный виброакселерометр серии VS1000 с диапазоном измерений $\pm 2g \dots \pm 200g$ и высокоточный высокотемпературный инклинометр TS1000T с диапазоном измерений $\pm 2g \dots \pm 10g$ и верхним пределом рабочей температуры $+175^\circ C$.

Не будем останавливаться на основных эксплуатационных характеристиках акселерометров предыдущего и нового поколений, поскольку они достаточно подробно изложены в публикациях [1, 2] и в кратких ТУ производителя [3]. Подробнее рассмотрим конструкцию и реально достижимые показатели на примере сопоставимых по диапазону измерений и назначению акселерометра MS9002 и инклинометра TS1002T для диапазона ускорений $\pm 2g$.

Конструкция чувствительного элемента не претерпела изменений (см. рис. 2).

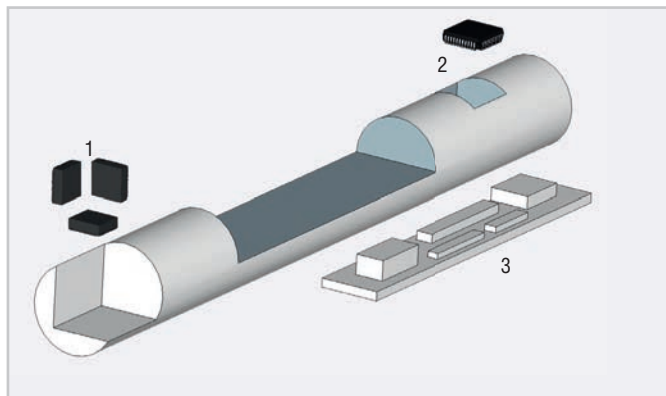


Рис. 1. Классическая компоновка навигационного модуля скважинного оборудования: 1 – акселерометры, 2 – гироскопы/магнитометры, 3 – блок электроники

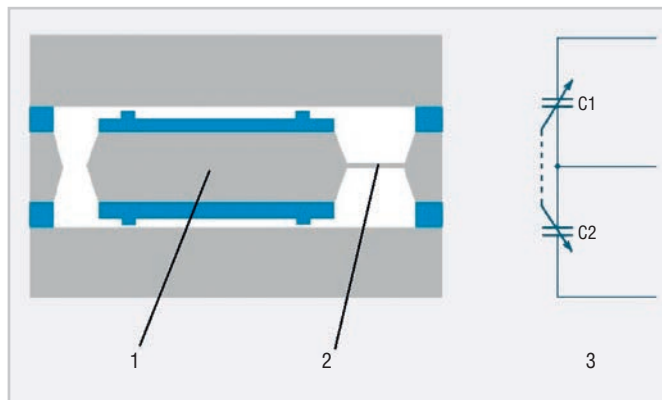


Рис. 2. Конструкция чувствительного элемента, выполненного по объёмной технологии Colibrys 3D MEMS: 1 – подвижный элемент с одной степенью свободы, 2 – упругий подвес, 3 – эквивалентная схема

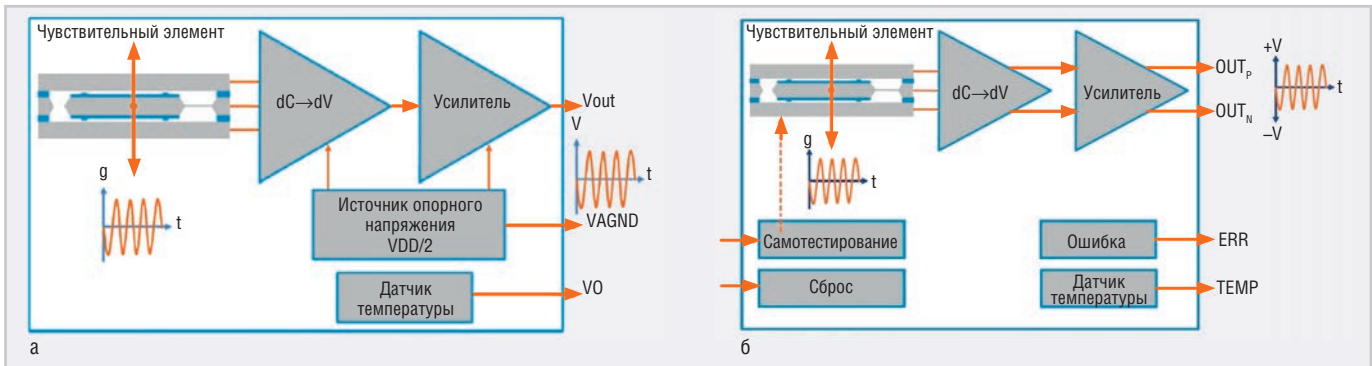


Рис. 3. Архитектура датчиков: а) MS9000, б) TS1000T

Это трёхслойная кремниевая сборка, в среднем слое которой сформирован подвижный элемент на упругом подвесе с одной степенью свободы. Его перемещение при приложении внешних воздействий к корпусу датчика вызывает пропорциональное изменение ёмкости в двух плечах приёмника сигнала, которое затем трансформируется в соответствующий уровень напряжения на выходе. Выходной сигнал – ратометрический, т.е. его амплитуда зависит от уровня напряжения питания. Эту специфику необходимо учитывать при построении источника питания и раз-

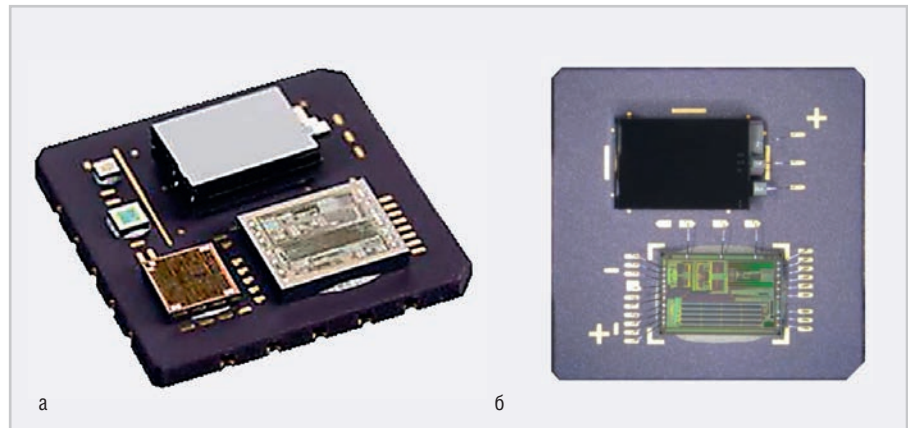


Рис. 4. Конструкция датчика (крышка корпуса удалена): а) MS9000, б) TS1000T

МЫ РАСТИМ БУДУЩЕЕ...

ЭЛЕКТРОННАЯ КОМПАНИЯ ФАВОРИТ-ЭК

STÄUBLI | NICOMATIC | ИНТЕГРАЛ | МИКРО ЭЛЕКТРОНИКА | МИПАНДР | ДИСПЕД | Multi-Contact | MC | АЭ АМИТРОН ЭЛЕКТРОНИКС | АЕДОН | КВ системы | TESLA ELECTRIC | Great River Technology | ChipStar | RD ALFA | APSELEC | NESSCAP | Microsemi | UMS | WAGO | micross | CYPRESS | CRANE INTERPOINT | TOR HiRel | XP EMCO | TDK Lambda | Civilux Group | bulgin | RDC | CREE | Switchcraft | Grayhill | KYOCERA | SHARP | ANO | i-sft | IEE | LITEMAX | LUMINEO | RAYSTAR | anadigm | RDC | Wolfspeed | CRANE | amli | ИНЕРЦИАЛЬНЫЕ ДАТЧИКИ | HUMMEL | MENTOR

ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ

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

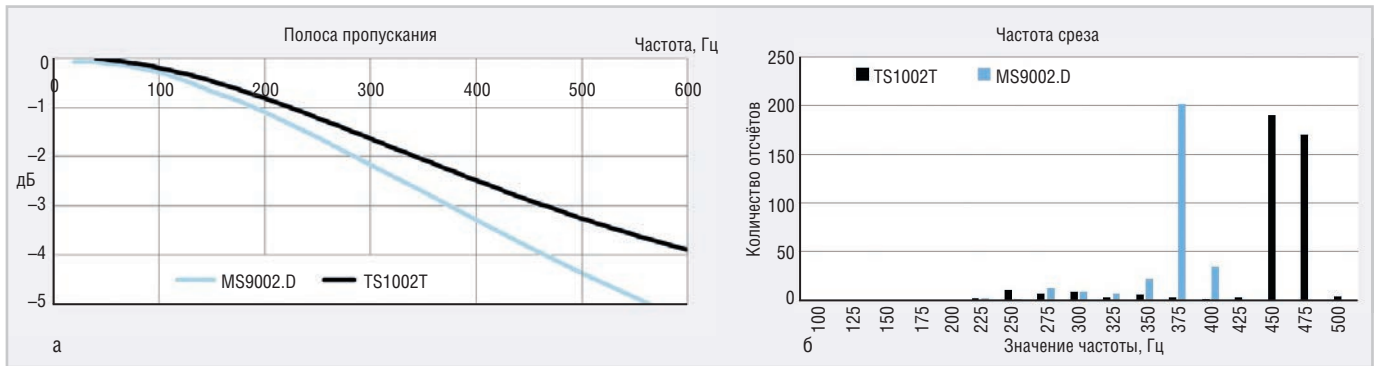


Рис. 5. Сравнение частотных характеристик MS9000 и TS1000T: а) полоса пропускания, б) распределение частот среза по выборке

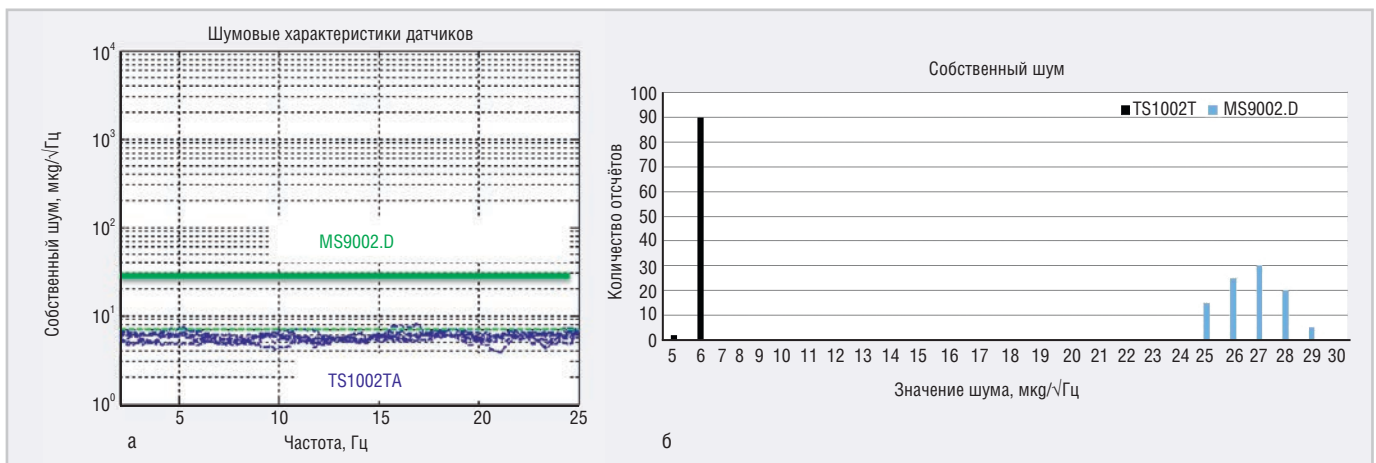


Рис. 6. Сравнение уровня собственных шумов MS9000 и TS1000T: а) графическое представление результатов измерений, б) распределение значений уровня шума по выборке

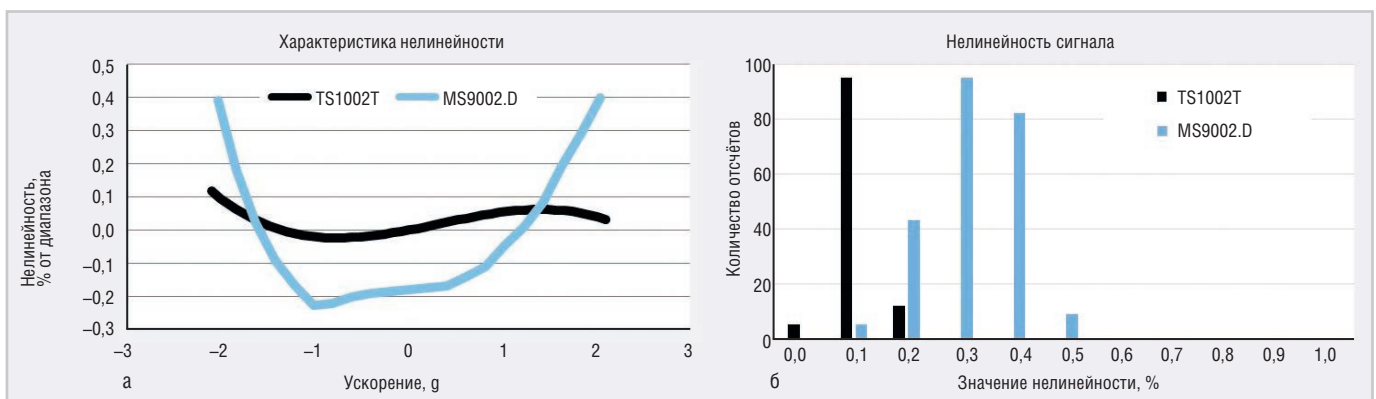


Рис. 7. Сравнение нелинейности сигнала датчика на рабочем диапазоне при воздействии вибрации: а) графики характеристик нелинейности, б) распределение значений нелинейности по выборке

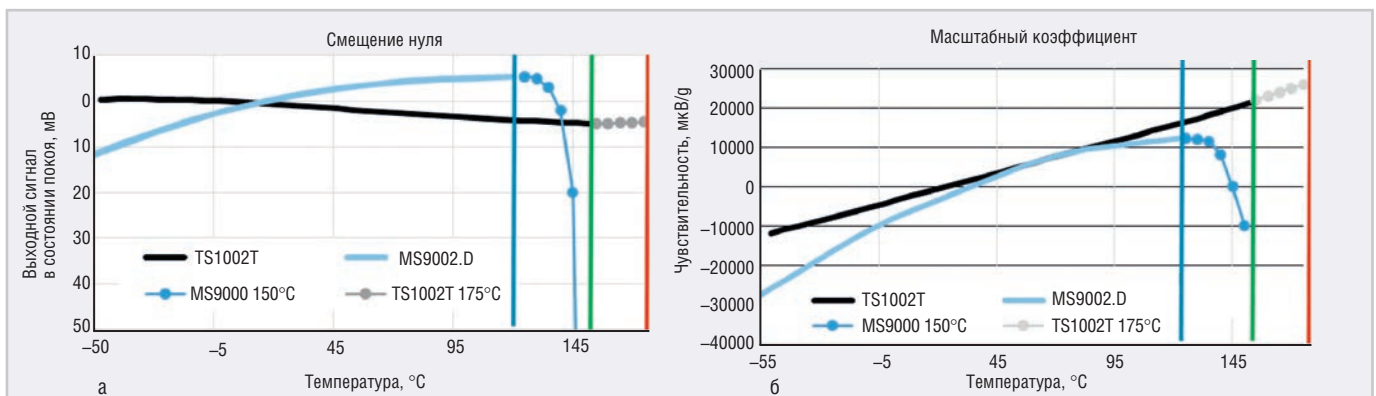


Рис. 8. Сравнение температурных зависимостей MS9000 и TS1000T: а) смещение нуля, б) масштабный коэффициент

Функциональное назначение выводов TS1000T, VS1000

Номер вывода	Название	Назначение
2	RESET	Сброс
3	POR	Начальный сброс (инициализация)
4	OUT _P	Дифференциальный выход, положительный
5	OUT _N	Дифференциальный выход, отрицательный
6	TEMP	Температура, аналоговый выход
7	ERR	Ошибка
14	V _{SS} (0,0 В)	Общая шина, аналоговая
15	ST	Запуск самотестирования
16	VMID	Внутреннее опорное напряжение, только для ёмкостных фильтров
17	V _{DD} (3,3 В)	Напряжение питания, аналоговое
1, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 18, 19, 20	GND	Подключение к общей шине земли

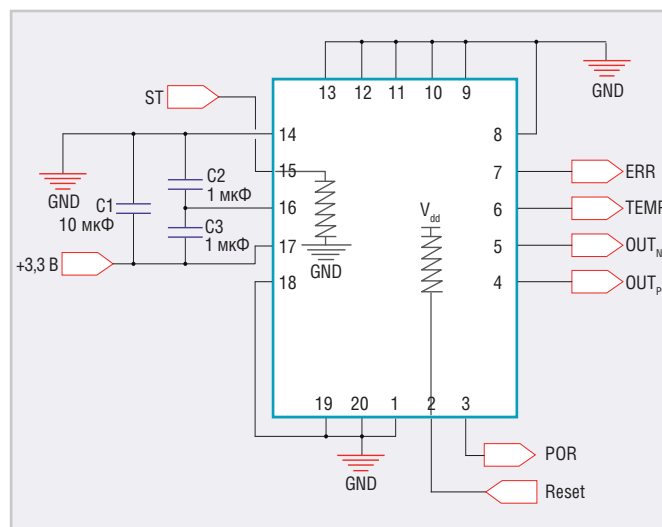


Рис. 9. Типовая схема включения TS1000T, VS1000

работке конструкции измерительного устройства. Выходной каскад TS1002T отличается от выхода MS9002 тем, что выполнен по дифференциальной схеме (см. рис. 3), что положительно повлияло на помехозащищённость.

Существенно изменилась и конструкция датчика (см. рис. 4). Удалось исключить дополнительный микроконтроллер, дискретный датчик температуры, нагрузочный резистор. Весь этот функционал перенесён в специализированную микросхему. Несмотря на то, что чувствительный элемент и керамический корпус датчика остались прежними, существенно изменилась технология крепления компонентов к основанию корпуса, применены новые материалы. В результате улучшено согласование температурных коэффициентов расширения корпуса и компонентов, демпфирование ударных и вибрационных нагрузок, что незамедлительно положительно отразилось на линейности изменения эксплуатационных характеристик в рабочем температурном диапазоне и позволило поднять верхний температурный предел без потери точности и стабильности.

Для оценки достигнутых улучшений проанализируем результаты параллельных измерений характеристик, проведённых в лабораторных условиях на образцах MS9002 и TS1002T.

Полоса пропускания датчика TS1002T увеличена более чем на 25% по сравнению с MS9002 (см. рис. 5). При этом необходимо отметить «консерватизм» производителя: в ТУ заявляется верхняя граница полосы пропускания на уровне не менее 100 Гц (–3 дБ), тогда как фактически достижимое значение составляет не менее 400 Гц (–3 дБ).

Уровень собственных шумов датчика TS1002T составляет 7 мкг/√Гц (СКЗ), что почти в 2,5 раза ниже, чем у датчика предыдущего поколения MS9002, который в аналогичных условиях может продемонстрировать значение не лучше, чем 18 мкг/√Гц (СКЗ) (см. рис. 6).

Радикально улучшены показатели нелинейности сигнала датчиков нового поколения в диапазоне измеряемых ускорений при воздействии вибрации (см. рис. 7). При этом также уменьшился разброс показателей отдельных образцов в выборке.

Показатели температурной зависимости смещения нуля и чувствительности (масштабного коэффициента) в датчиках новых серий стали практически линейными, с малым наклоном относительно горизонтальной оси и сохраняют свою линейность вплоть до верхнего рабочего предела в +175°C, тогда как у датчиков предыдущего поколения аппроксимирующая кривая демонстрирует резкий спад при приближении к верхней границе рабочих температур (см. рис. 8).

Благодаря применению новой специализированной управляющей микросхемы в составе датчиков новых серий, реализована возможность обмена управляющими и диагностическими сигналами в виде логических уровней между внешним контроллером и датчиком, а сам датчик получил расширенный функционал. В частности, появилась функция встроенного самотестирования с выдачей результата диагностики в виде логического уровня. Эта функция активируется как при штатном включении – при подаче питающего напряжения, так и принудительно – по сигналу сброса. О выходе

питающего напряжения за допустимые пределы и о перегрузке чувствительного элемента сигнализирует высокий логический уровень на выводе ERR. При приложении к датчику ускорения, превышающего его номинал, встроенная ASIC также производит циклический сброс схемы управления до тех пор, пока чувствительный элемент сигнализирует о перегрузке. Функциональное назначение выводов датчиков TS1000T, VS1000 приведено в таблице.

Схема включения акселерометров нового поколения достаточно проста и требует минимального количества внешних компонентов (см. рис. 9). С учётом ратиометрического выходного сигнала особенно важно обеспечить стабильность источника питающего напряжения и фильтрацию помех по цепям питания. Сама плата с датчиком с помощью шлейфа, при условии обеспечения защиты от электромагнитных помех, может быть физически обособлена от схемы обработки и вынесена в точку измерения. Блок-схема интеграции акселерометра в измерительную систему приведена на рисунке 10.

Габариты датчиков позволяют создать 3-осевой блок измерения ускорений для размещения в цилиндрическом отсеке с внутренним диаметром ~28 мм. Эскиз такого технического решения приведён на рисунке 11.

Опыт применения инерциальных МЭМС-датчиков показывает важность алгоритмической компенсации «сырых» результатов измерений. Вычислительные мощности современных микроконтроллеров позволяют производить эти операции «на борту» – в блоке обработки первичной информации и передавать по телеметрической

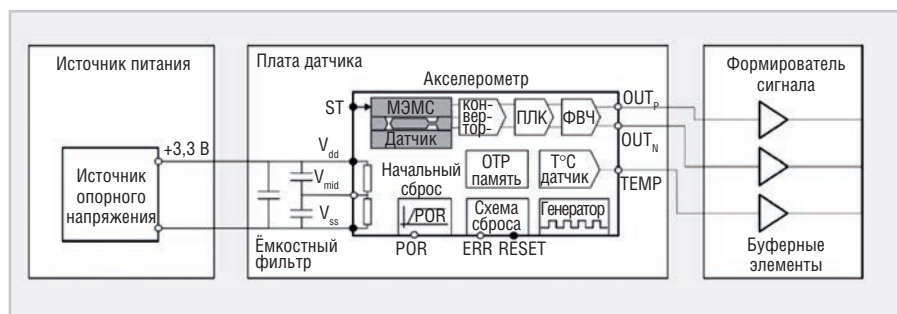


Рис. 10. Блок-схема интеграции акселерометров TS1000T, VS1000 в измерительную систему

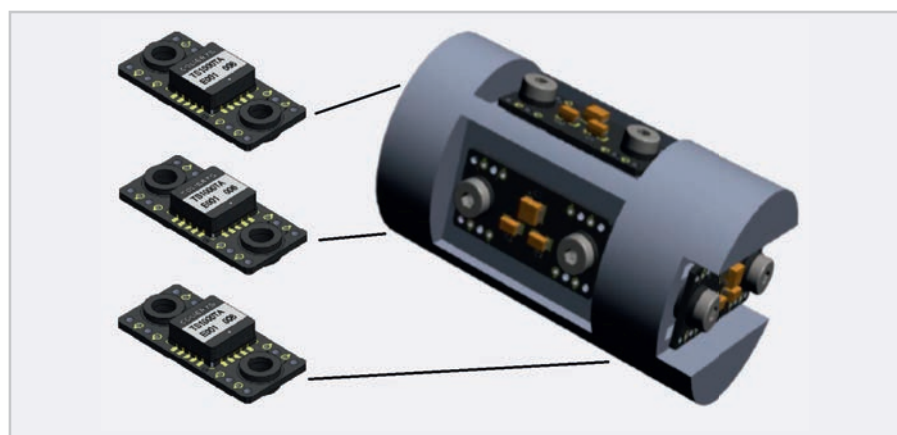


Рис. 11. Эскиз конструкции 3-осевого блока измерения ускорений

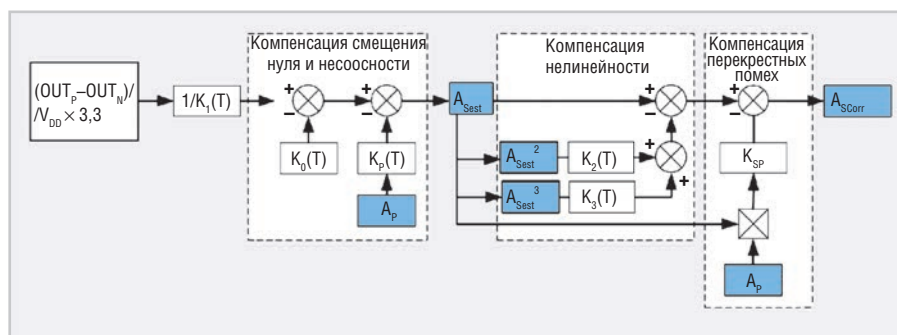


Рис. 12. Блок-схема интеграции акселерометров TS1000T, VS1000 в измерительную систему

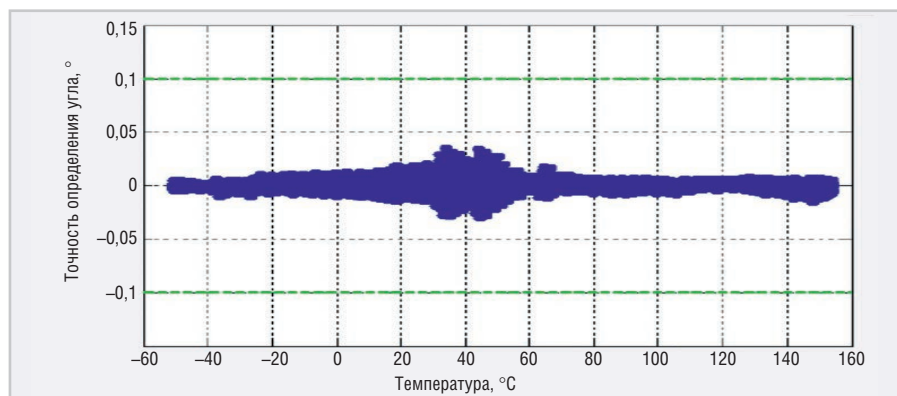


Рис. 13. Результат программной обработки экспериментальных данных

му каналу уже подготовленные, скомпенсированные данные.

Производитель в кратких ТУ на акселерометр TS1000T [3] приводит пример такой программной компенсации для 2-осевой системы полиномом

3-го порядка с использованием данных встроенного датчика температуры. Процедура обработки включает два этапа: компенсацию неидеальности датчика с учётом температуры и удаление ошибок и формирование углового вектора

(см. рис. 12). Показано, что результатом преобразований является практически достижимая точность определения угла наклона не хуже, чем $\pm 0,05^\circ$ в гарантированном диапазоне рабочих температур $-40...+150^\circ\text{C}$ (см. рис. 13). Эта процедура позволяет автоматически учесть изменения в процессе работы устройства таких эксплуатационных характеристик датчика, как дрейф нулевого сигнала, температурная зависимость масштабного коэффициента, нелинейность показаний чувствительного элемента, а также влияние перекрёстных помех в многоосных системах.

Разработчики геофизических измерительных систем смогут найти привлекательными для применения в своих новых разработках виброакселерометры серии VS1000, выполненные на однотипном с TS1000T чувствительном элементе и имеющие аналогичные схему управления и конструкцию.

Особенностью ёмкостных МЭМС-акселерометров является возможность измерения спектра регистрируемого сигнала начиная с постоянной составляющей, т.е. от 0 Гц, что в отдельных применениях может быть существенно для точной диагностики. Верхняя граница полосы пропускания акселерометров серии VS1000 составляет от 1150 до 7000 Гц (-3 дБ) для разных моделей, что соответствует классу С с динамическим диапазоном 90 дБ [4].

Компания Safran Colibrys SA заявляет о своём намерении в ближайшем будущем вернуться на рынок коммерческих сейсмических акселерометров с новым МЭМС-датчиком класса В, имеющим динамический диапазон 110 дБ. Эти датчики должны прийти на смену востребованной в прошлом линейке Si-Flex SF1600, SF2006 и 3-осевым сборкам в ударопрочном корпусе на их основе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балман Д., Пономарёв Ю. МЭМС-акселерометры компании Colibrys – прорыв в область высоких температур. Электроника: Наука Технология Бизнес. 2016. №3.
2. Бекмачев А. Инерциальные МЭМС-датчики и модули европейских производителей. Обзор новинок. Электроника: Наука Технология Бизнес. 2014. №2.
3. 30S.TS1000TA.C.10.16. TS1000T – Preliminary datasheet. Single axis analog accelerometer. Safran Colibrys SA. www.safran-colibrys.com.
4. 30S.VS1000.D.08.16. VS1000 – Preliminary datasheet. Single axis analog accelerometer. Safran Colibrys SA. www.safran-colibrys.com.



ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОНИКИ ОТВЕТСТВЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ
ДЛЯ СЛОЖНЫХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

15 ЛЕТ ПЕРЕДОВЫМ
СТАНДАРТАМ
ПРОИЗВОДСТВА

*Экспериментируя с новым, мы сохраняем лучшее,
развиваясь в соответствии с задачами партнеров и заказчиков.*

*Благодарим всех участников сложного, общего для всех нас дела –
внедрения ответственной отечественной электроники –
и приглашаем вас в следующее «пятнадцатилетие»!*



1100 проектов



72 000 наименований



2 100 000 изделий

НОВОСТИ МИРА

**Алексей Якунин:
«Не сомневаться,
а действовать!»**

О работе секции «Информационно-управляющие системы», которая будет уже третий год в рамках Международной научной конференции «Микроэлектроника – ЭКБ и электронные модули» на III Международном форуме «Микроэлектроника 2017» рассказал декан факультета микроприборов и технической кибернетики НИУ МИЭТ, профессор, д.т.н. Алексей Николаевич Якунин.



В секции «Информационно-управляющие системы» обсуждаются проблемы проектирования и экспериментального исследования информационно-управляющих систем с целью улучшения их технических характеристик. Анализируются современные структурные и архитектурные решения, включая исследование и разработку математических моделей, сложнo-функциональных блоков, модулей, алгоритмов и способов их технической реализации. Отдельное внимание уделяется особенностям применения отечественной компонентной базы.

В данной секции рассматриваются не столько технологии изготовления, сколько создание принципиально новых структурных и архитектурных решений, новых методов анализа и синтеза элементов информационно-управляющих устройств, оригинальных алгоритмов и эффективных программ, кото-

рые имеют большое значение для научно-технического роста микроэлектронной отрасли. Это особенно актуально при условии использования отечественных компонентов.

Модератор секции «Информационно-управляющие системы», профессор, д.т.н. Алексей Якунин утверждает: «Все доклады по-своему интересны. В прошлые годы затрагивались вопросы как теоретического характера, так и конкретного практического плана. Бортовые вычислительные машины, радиоэлектронные модули, телеметрические системы, проектирование с использованием ПЛИС – вот неполный перечень рассматриваемых направлений. На докладах озвучивались аппаратные решения при построении разнообразных функциональных блоков, интересные алгоритмические находки, концептуальные системные инновации».

Стандартно в секции № 3 «Информационно-управляющие системы» заняты все дни работы конференции. Уже прислали заявки Национальный университет «МИЭТ», Федеральное государственное учреждение «Федеральный научный центр «Научно-исследовательский институт системных исследований РАН», АО «Конструкторское бюро приборостроения им. Академика А.Г. Шипунова», АО «НИИ Микроприборов им. Г.Я. Гуськова», АО «НИИ «Субмикрон» и многие другие.


В случае превышения максимально возможного количества докладчиков в секциях предусмотрены заочные и стендовые доклады. Каждая работа (и очная, и заочная) будет опубликована организаторами в электронном и бумажном сборнике по итогу работы конференции.

«Проектирование современных информационно-управляющих систем – интересный интеллектуальный процесс, в котором ошибки неизбежны. Главное – это принять и научиться к этому относиться правильно. Не ошибается только тот, кто ничего не

создаёт. Рассказывать об ошибках – удел сильных. И это совсем не выглядит стыдно. Наоборот, коллеги хорошо впитывают поучительный опыт своих партнёров, которые уже прошли сложный творческий путь разработки, – комментирует А. Якунин. – Действительно, внедрение новых техпроцессов замедляется при приближении к технологическому пределу, к которому подходит промышленность. Уменьшение размеров компонентов не может продолжаться бесконечно. Уже сейчас в них толщина слоя диоксида кремния составляет несколько атомарных слоёв. Поэтому всё больший интерес вызывают другие способы совершенствования электронных систем – разработка новых архитектур, принципиально новых методов синтеза элементов и устройств вычислительных систем, оригинальных алгоритмов обработки данных».


«Обязательной составляющей любой научной деятельности является обмен опытом, который обязательно происходит в рамках работы конференции. Если Вам есть что рассказать и показать, если тематика Вашего исследования соответствует направлению одной из секций – я советую не сомневаться, а действовать!» – подытожил А. Якунин – Каждая конференция приносит пользу сразу в нескольких направлениях. Это прямой диалог с обменом опытом между учёными, разработчиками и молодыми специалистами, которые независимо проводят научные исследования в микроэлектронной отрасли. Появляются новые деловые связи, имеющие перспективы на долгосрочные взаимовыгодные отношения. Развитие личных профессиональных качеств. Ну и, конечно, великолепный крымский климат, дающий заряд бодрости на длительное время!».

**Пресс-служба Форума
«Микроэлектроника»**



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



ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИЛЕР

АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА
 (495) 232-2522 • INFO@PROCHIP.RU • WWW.PROCHIP.RU

НОВОСТИ МИРА

**ADGEX создаёт новую
формацию интеллектуальной
электронной лаборатории**

Компания ADGEX сообщает, что 1 августа 2017 года был подписан трёхсторонний контракт с компаниями ТОКИО БОЕКИ и ЙОКОГАВА на поставку первой партии уникального микроэлектронного оборудования minimalFAB.

Таким образом ADGEX официально стал первой в мире компанией, которая получит партию ультрасовременных японских комплексов minimalFAB, которые уже в следующем году позволят компании запустить передовой центр уникальных технологий, где под одной крышей будут собраны все компетенции создания современной электроники нового поколения.

Такой центр представляет собой компактную производственную лабораторию, на базе которой можно будет выпускать готовые микроэлектронные изделия, начиная от проектирования и изготовления чипов любой сложности и конфигурации до производства готовых конечных устройств.

Модули minimalFAB являются ключевым звеном в этой модели, согласно которой компания сможет производить любое необходимое количество микрочипов – от единичных сложных специализированных изделий до 40 тысяч типовых чипов в месяц.

Ровно через 7 месяцев первая партия модулей minimalFAB будет поставлена в лабораторию ADGEX в г. Санкт-Петербург, где уже с марта 2018 года начнётся выпуск первых электронных устройств по технологии КМОП, МЭМС и НЭМС.

Управляющий директор ADGEX Виктор Узлов отметил: «Сегодняшний день стал по-настоящему историческим не только для компаний ADGEX и ТОКИО БОЕКИ, но и для всей мировой электронной промышленности! Подписав контракт на поставку модулей minimalFAB, мы открыли окно в совершенно новую эру развития электроники. Отныне мы способны создавать современные производства-лаборатории, производительность которых можно регулировать количеством цифровых блоков minimalFAB».

Оснащая лабораторию модулями minimalFAB, ADGEX открывает новую страницу в истории микроэлектроники, трансформируя существующую модель IDM (Integrated Device Manufacturer – Производитель Интегрированных устройств) в новый собственный формат AIDL (Agile Integrated Device Laboratory – Интеллектуальная лаборатория комплексного производства). Данный формат позволяет разбить всю производственную цепочку создания микроэлектронного элемента на отдельные процессы,

решение которых будет осуществляться на базе индивидуального модульного подхода, что значительно упрощает, ускоряет и удешевляет создание любого даже самого сложного микроэлектронного устройства.

В настоящее время в мире сложилась ситуация, когда для передовых микроэлектронных устройств и приборов, выпускаемых небольшими тиражами, просто нет современной электронной начинки. А потребности этого сектора электроники в наше время уже превышают 50% всего мирового рынка электроники. Именно поз-

тому компактные производственные линии minimalFAB ориентированы на выпуск различных видов чипов малыми партиями. Это революционное технологическое решение, которое содержит в себе самые лучшие технологии и разработки всей передовой промышленности Японии. MinimalFAB позволит удовлетворить спрос на небольшие и средние партии микрочипов для перспективных и инновационных изделий, которые, как известно, создаются небольшими инновационными компаниями.

adgex.ru

**Магнитодиэлектрики MICROMETALS****Применение сердечников Micrometals гарантирует:**

- снижение стоимости индуктивных компонентов
- повышение надёжности аппаратуры
- снижение потерь на 30...50% по сравнению с ферритами
- оптимизацию конструкции и уменьшение габаритов индуктивных компонентов



PROCHIP
POWERED BY PROSOFT

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА
(495) 232-2522 • INFO@PROCHIP.RU • WWW.PROCHIP.RU



Реклама