

Защита и управление оборудованием космического и авиационного назначения при помощи устройств компании Sensata Technologies

Константин ВЕРХУЛЕВСКИЙ
info@icquest.ru

Термостаты и защитные устройства на основе биметалла пользуются заслуженной популярностью благодаря высокой надежности, простоте монтажа и широкой номенклатуре доступной продукции в различных вариантах корпусного исполнения. Концевые выключатели и реле давления являются неотъемлемой частью систем управления электромеханизмами. Все эти компоненты образуют группу высоконадежных изделий, предлагаемых компанией Sensata Technologies для применения в оборудовании космического и авиационного назначения.

Введение

Компания Sensata Technologies (ранее Klixon), до 2005 года входившая в состав Texas Instruments, более 40 лет является мировым лидером в области разработки и производства датчиков, термостатов и контрольных устройств для космического и авиационного оборудования, военных, медицинских, промышленных, автомобильных разработок и систем защиты электродвигателей. Непревзойденная надежность и безотказность продукции, выпускаемой под торговой маркой Klixon, по достоинству оценена потребителями, компоненты Sensata Technologies пользуются большой популярностью и в настоящее время широко применяются такими известными компаниями, как Airbus, Boeing, General Motors, и многими другими [1].

К важным особенностям продукции компании Sensata следует отнести:

- широкий диапазон рабочих температур;
- чрезвычайно малый процент отказов благодаря использованию запатентованных инновационных решений;
- высокую устойчивость к внешним воздействиям;
- сертификацию производства, проверку безопасности и долговечности работы по международным, военным и отраслевым стандартам;
- глобальную службу технической поддержки.

В широком ассортименте выпускаемой компанией Sensata продукции можно выделить три основные группы:

- датчики (температуры, давления, потока воздуха);
- системы управления и защиты от перегрева или перегрузки по току (высококачественные термостаты, мотор-протекторы, реле давления, автоматические выключатели и коммутаторы);
- компоненты и модули питания (DC/AC-преобразователи, зарядные устройства).

Вторая группа наиболее многочисленная и изготавливается преимущественно на основе биметалла. Свойство преобразования формы спая из двух металлов при изменении температуры известно давно, однако практическое его использование было затруднено в связи с низкой скоростью размыкания, что вызывало искрение контактов, особенно при коммутации больших токов. Значительный прогресс в этом вопросе был достигнут после изобретения биметаллических дисков с различным коэффициентом термического расширения, которые имеют только два устойчивых состояния — выпуклое и вогнутое, а промежуточные состояния являются неустойчивыми, потому переход между ними происходит скачкообразно. Такое поведение дисков позволяет строить на их основе высоконадежные быстрореагирующие термовыключатели с большим количеством циклов замыкания/размыкания.

Компанией Sensata производится огромное количество разнообразных моделей биметаллических устройств для различных применений. В рамках данной статьи ограничимся обзором компонентов, предлагаемых для использования в оборудовании авиационного и космического назначения.

Автоматические выключатели

Автоматический выключатель — коммутационное устройство, предназначенное для защиты электрических установок от перегрузок по току и коротких замыканий, для нечастых отключений и включений цепей в нормальных режимах, для пуска и отключения асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором. В отличие от плавкого предохранителя, представляющего собой одноразовое устройство, автоматические выключатели предоставляют возможность многократного использования. Кроме того, автоматический выключатель обеспечивает более эффективную защиту, особенно в трехфазных цепях, так как, например, при коротком замыкании отключаются все фазы сети. Предохранители в этом случае, как правило, отключают одну или две фазы, что создает неполнофазный режим, который также является аварийным.

Выпускаемые под торговой маркой Klixon выключатели компании Sensata Technologies представляют собой преимущественно компактные легкие устройства с повышенной стойкостью к вибрациям и механическим ударам, предназначенные для эксплуатации в жестких условиях окружающей среды. Все они могут использоваться в цепях как постоянного, так и переменного тока [2]. В таблице 1 указаны основные характеристики серий выключателей, специально разработанных для аэрокосмической отрасли, а их внешний вид показан на рис. 1. Типовые применения предусматривают распределенные источники питания для коммерческих и военных

Таблица 1. Основные рабочие характеристики автоматических выключателей авиационного применения компании Sensata

Серия	Соответствие стандартам	Обратное включение	Индикация	Диапазоны рабочих токов, А	Размеры (Д×Ш×В), см	Вес, г	Время отключения, с (при 2-кратном токе)	Предельный ток короткого замыкания, А	Примечание
2ТС/3ТС	MS3320; MS14105; MS58091	Кнопка	Да	1–25; 15–35; 5–35; 2,5–15; 2,5–10	1,9×1,4×3; 2,8×1,9×3; 2,8×1,9×3,8; 3×1,9×1,4	25/36	10/10	6000 (при 28 В DC); 2500 (при 120 В AC, 400 Гц); 3500 (при 120 В AC, 400 Гц, для 3СТ); 6000 (при 28 В DC); 2000 (при 120 В AC, 400 Гц)	Сверхминиатюрный однополюсный
5ТС	ASNE0732-005; NSA93121	Кнопка	Да	20–50	4,2×2×4,9	55	10	4000 (при 28 В DC); 2000 (при 115 В AC, 400 Гц)	Однополюсный, с повышенным диапазоном рабочих токов
6ТС/9ТС	MS14154; MS14153	Кнопка	Да	2–20; 1,15–35	1,9×4,5×3; 2,8×6×3	65/110	10/10	2000 (при 120 В AC, 400 Гц)	Сверхминиатюрный, трехполюсный
7274/7277	MS26574; MS22073	Кнопка	Да	0,5–20	1,9×1,4×5,6	28/32	10	2000 (при 28 В DC); 500 (при 125 В AC, 400 Гц)	Быстродействующий, однополюсный
15ТС	MS90351	Кнопка	Да	20–50	5,3×3,3×5,5	127	35	4000 (при 28 В DC); 2000 (при 115 В AC, 400 Гц)	Быстродействующий, трехполюсный, с расширенным диапазоном рабочих токов
6752	MS24571; MS25361	Кнопка	Да	2,5–50; 50–100; 2,5–90	5,6×1,9×8,4; 5,6×1,9×8,4; 5,6×5,7×8,4	38,9	35	6000 (при 30 В DC или 120 В AC, 400 Гц)	Одно- и трехполюсный, с высоким значением тока короткого замыкания
7270/7271	MS24509; MS24510	Тумблер	Да	3–35	3,5×1,9×5,7; 3,5×1,9×5,1	39	50/50	4000 (при 30 В DC); 3500 (при 120 В AC, 400 Гц)	Однополюсный, низкопрофильный
20ТС	–	Кулисный переключатель	Да	3–35	5,1×1,9×5,1	39	50	2000 (при 30 В DC); 1000 (при 120 В AC, 400 Гц)	Однополюсный, низкопрофильный, для монтажа на панель управления
7235/7236	–	–	–	7–400	9,2×3,5×5,9	–	–	–	Одно- или трехполюсный
3SB	MS26574	Кнопка	Да	–	1,9×1,4×5,6	33	–	–	Быстродействующий, для авиасимуляторов



Рис. 1. Внешний вид автоматических выключателей авиационного назначения

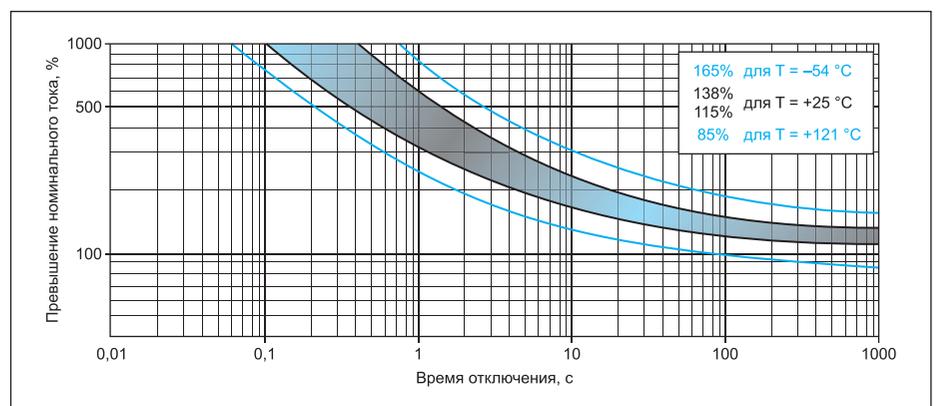


Рис. 2. Зависимость времени отключения от протекающего тока для выключателя серии 2ТС

самолетов, наземное авиационное оборудование, системы запуска ракет и авиационные симуляторы.

В основе функционирования всех выключателей Sensata лежит тепловой механизм расцепления. Тепловой расцепитель, разработанный по специальной запатентованной технологии Klixon, представляет биметаллический диск, изготовленный из двух жестко соединенных между собой металлов с различными коэффициентами линейного расширения. Биметаллическая пластина включается в электрическую цепь последовательно с нагрузкой и нагревается электрическим током. При увеличении тока в цепи в несколько раз выше заранее заданного значения нагрузки, под влиянием нагрева, диск щелчком изгибается в сторону металла с меньшим коэффициентом линейного расширения и приводит в действие механизм расцепления, размыкая электрический контакт. Время срабатывания каждого выключателя Sensata, зависящее от величины тока и от температуры окружающей среды, принимает значения от единиц секунд до ми-

нут и определяется из так называемой времятоковой характеристики, полученной для комнатной температуры (25 °C). Настройка тока срабатывания производится однократно в процессе изготовления. Сопутствующие кривые ухудшения параметров предоставляют дополнительные данные для случаев эксплуатации в условиях повышенных или пониженных температур (рис. 2). У большинства автоматических выключателей Sensata предусмотрена температурная компенсация, которая обеспечивает корректировку времени срабатывания в соответствии с температурой окружающей среды.

Все выключатели Sensata можно разделить на две группы:

- с автоматическим обратным включением;
- с ручным обратным включением.

Для приборов первого типа технологически устанавливаются две температуры — срабатывания и отпускания: при первой происходит срабатывание выключателя, а при остывании до второй он возвращается в исходное состояние и цепь замыкается. Устройство с принудительным включением предполагает наличие кнопки или тумблера, которые используются для приведения выключателя в рабочее состояние после его

срабатывания. Большая часть автоматических выключателей авиационного назначения компании Sensata относится ко второму типу, в них применяется механизм ручного сброса без защелкивания кнопки, отсутствие фиксатора на которой позволяет уменьшить износ и продлить срок эксплуатации. Специально разработанные для применения при повышенных механических нагрузках, компоненты рассматриваемых серий выдерживают вибрации с ускорением до 10g и частотой 50–500 Гц, а также механические удары более 50g без ухудшения рабочих характеристик. Вся продукция сертифицирована и проходит выходные испытания на соответствие требованиям отраслевых стандартов.

Важным параметром, задающим границы применения прибора, является срок службы, обычно определяемый как количество циклов включения/отключения, которое может выдержать устройство без потери функциональных качеств. Оно зависит от конструкции и материалов, используемых при изготовлении устройства, а также от величины номинальной коммутируемой нагрузки и окружающих условий. Гарантированное количество циклов срабатывания нормируется для каждого выключателя — например,

для выключателей серии ЗТС оно составляет 2500 циклов с индуктивной и 5000 циклов с активной нагрузкой (при рабочем напряжении 120 В АС с частотой 400 Гц) или 5000 циклов с активной нагрузкой (при напряжении 28 В DC).

Для каждого исполнения автоматического выключателя существует предельный ток короткого замыкания, который гарантированно не приводит к выходу из строя автомата. Превышение этого тока может вызвать подгорание или сваривание контактов. По данному параметру наилучшие показатели имеют компоненты серий 2ТС/ЗТС и 6752 с максимальным током 6000 А при номинальном значении от 1 до 100 А.

Предлагаемые компанией Sensata электромеханические устройства отличаются широким набором дополнительных опций, позволяющих выбрать подходящее решение для конкретной задачи. Так, разработчики могут заинтересовать отличающиеся повышенной надежностью выключатели 2ТС49, содержащие, помимо всего прочего, в стандартном корпусе встроенные плавкие предохранители.

Одно- и трехфазные мотор-протекторы

Двигатели постоянного и переменного тока широко применяются в авиационных электромеханизмах. Возникающие при работе электродвигателей значительные токи, протекающие через медь обмоток, статоры и роторы, могут привести к коротким замыканиям, блокировке ротора и, как следствие, к возникновению аварийных ситуаций. Мотор-протекторы представляют собой специализированные электромеханические термовыключатели с фиксированной температурой срабатывания, выделенные согласно классификации компании Sensata в отдельный тип устройств [3]. Как видно из названия, их основное назначение состоит именно в защите обмоток одно- и трехфазных электродвигателей постоянного и переменного тока от длительных перегрузок или превышения предельных температур и, соответственно, в продлении срока их службы. Мотор-протекторы преимущественно предназначены для использования непосредственно производителями электромоторов. При изготовлении двигателей они включаются в разрыв силовой части, после-

довательно с обмоткой, и становятся неотъемлемым элементом всей системы, при этом малый размер обеспечивает простоту монтажа в ограниченном пространстве. Наряду с повышением надежности и безопасности их применение также обеспечивает снижение затрат на компоненты, так как позволяет исключить внешние элементы защиты. Внешний вид мотор-протекторов представлен на рис. 3.

Основу защитных устройств данного типа составляют рассмотренный ранее биметаллический диск (по одному на каждую фазу), изготовленный по технологии Klixon, и дополнительный встроенный нагревательный элемент, через который протекает часть рабочего тока. За счет нагревателя биметаллическая пластина изначально находится в слегка нагретом состоянии, поэтому при резком увеличении тока или температуры срабатывание происходит быстрее. Данная конструкция учитывает и тепло, выделенное пластиной при протекании по ней тока, и температуру окружающей среды, что делает мотор-протектор простым и надежным устройством защиты.

Ключевые особенности мотор-протекторов компании Sensata:

- широкий диапазон температур срабатывания: от -54 до $+290$ °С;
- отличная вибростойкость;
- мгновенное срабатывание (замыкание или размыкание контактов);
- миниатюрные размеры;
- высокая надежность, большое число срабатываний;
- соответствие MIL-PRF-24236, UL, CSA и другим международным стандартам;
- возможность изготовления специальных корпусов и способов их крепления в соответствии с требованиями заказчиков.

Таблица 2. Максимальные рабочие характеристики мотор-протекторов Sensata

Серия	28 В DC	120 В АС
SKA	16 А	16 А
MKA	50 А	50 А
KA	100 А	100 А
SJE	30 А	30 А
MJE	60 А	60 А
VJE	120 А	120 А

В настоящее время доступно шесть серий мотор-протекторов аэрокосмического назначения, отличающихся номинальными значениями нагрузочных токов и конструктивными особенностями (табл. 2). Рабочий ток представителей старшего семейства VJE составляет 120 А при напряжении 28 В DC и 120 В АС.

Прецизионные термостаты

Решение задачи контроля изменений температуры, возникающих при работе разнообразного оборудования, зачастую связано именно с применением термостатов. При этом в некоторых системах термостату отводится лишь функция защиты или управления исполнительными механизмами, в других же системах термостат является полноценным, а иногда и главным рабочим устройством. Механические термостаты давно используются в различных приборах, в том числе и в высоконадежном оборудовании с военной и космической приемкой. Технологии изготовления и методы применения изделий данного типа прошли проверку временем, многолетний опыт позволяет создавать широкий спектр простых, но высокоэффективных устройств управления термооборудованием. По сравнению с электронными термостатами приборы на основе механического контроля температуры с помощью биметаллических выключателей обладают преимуществами, среди которых решающее значение имеют высокая надежность эксплуатации, большое количество циклов срабатывания и удобство монтажа.

Sensata Technologies предлагает разработчикам линейку термостатов для использования в космических программах, спутниковом оборудовании, аппаратуре военной и гражданской авиации (табл. 3). Высокое качество продукции подтверждается уже реализованными проектами, в числе которых можно отметить навигационные GPS- и телекоммуникационные JCSAT-спутники, телескопы Хаббла и Джеймса Вебба, многоразовые транспортные космические корабли и пассажирские самолеты Airbus A310 и A320 [4].

Высокоточные термостаты, рассчитанные на осуществление своих функций в жестких

Таблица 3. Основные рабочие характеристики высоконадежных термостатов Sensata

Серия	ЗВТ/4ВТ	5ВТ	M2	M1/11041
Диапазон температур срабатывания, °С	$-17,8...+176,7$	$-53,9...+204,4$	$-17,8...+148,9$	$-53,9...+287,8$
Количество срабатываний	10 000	100 000 (при токе 2 А) и 50 000 (при 3 А)	250 000	100 000 (при 5 А 30 В DC и 2 А 125 В АС)
Максимальный ток, А	1 (при 115 В АС и 30 В DC)	3 (при 125 В АС и 30 В DC)	2 (при 120 В АС и 30 В DC)	7 (при 30 В DC) и 6 (при 125 В АС)
Тип переключателя	Однополюсный, одна пара контактов	Однополюсный, одна пара контактов	Однополюсный, одна пара контактов	Однополюсный, одна пара контактов
Сопротивление контактов (max), Ом	0,05	0,05	0,05	0,05
Прочность изоляции	500 В АС	1250 В АС	1250 В АС	1250 В АС
Вибростойкость	30g при частоте 5–2000 Гц	10g при частоте 10–2000 Гц	10g при частоте 10–2000 Гц	20g при частоте 5–2000 Гц
Ударостойкость	100g (6 мс)	60g (11 мс)	100g (6 мс)	100g (6 мс)
Вес, г	Основной модуль: от 0,2 до 0,9	Основной модуль: 6,0; с кронштейнами: 7,0	Основной модуль: 5,4	Основной модуль: 4,8; с креплением: 5,9
Температура окружающей среды, °С	от $-62,2$ до 176,7	от $-53,9$ до $+232,2$	от $-53,9$ до $+204,4$	от $-62,2$ до $+287,8$



Рис. 3. Внешний вид мотор-протекторов

условиях окружающей среды, отличаются от автоматических выключателей в основном тем, что обеспечивают размыкание либо замыкание контактов только в результате воздействия внешней температуры на биметаллический диск. Различные типы стандартных и заказных корпусов (например, в виде зондов) и способов крепления могут удовлетворить большинству конструктивных требований, а всесторонняя техническая поддержка от инженеров компании Sensata поможет выбрать подходящее устройство из десятков выпускаемых наименований.

К ключевым особенностям высокоточных термостатов Sensata относятся:

- предварительно установленная температура срабатывания в диапазоне от -54 до +288 °C;
- максимальный рабочий ток: 7 А при напряжении 30 В DC или 125 В AC;
- герметичный малогабаритный корпус;
- возможность выбора типа корпуса в соответствии с требованиями заказчика;
- превосходная устойчивость к вибрации и ударам;
- сертификация в соответствии со стандартом MIL-PRF-24236;
- высокая надежность, длительный срок эксплуатации.

Специфика их использования подразумевает необходимость всесторонних испытаний на стойкость к воздействию агрессивных факторов окружающей среды. Все высоконадежные термостаты Sensata подвергаются выходному контролю согласно методам, представленным в таблице 4.

Таблица 4. Перечень выходных испытаний термостатов

Тип выходного испытания	Стандарт	Метод
Оценка сопротивления контактов	MIL-STD-202	307
Оценка прочности изоляции	MIL-STD-202	301
Вибростойкость	MIL-STD-202	204, условие D
Ударостойкость	MIL-STD-202	213
Герметичность	MIL-STD-202	112, условие C
Стойкость к солевому туману	MIL-STD-202	101, условие B
Воздействие влажности	MIL-STD-202	103, условие A
Пылезащитенность	MIL-STD-202	110, условие A

Миниатюрные герметичные термостаты серий 3ВТ и 4ВТ с рабочей температурой от -17,8 до +176,7 °C, изготавливаемые с применением технологии Tiny Stat, имеют наименьшие габариты из когда-либо разработанных подобных контактных датчиков температуры и являются идеальным вариантом для систем дистанционного мониторинга. Минимально возможный вес позволяет миниатюрным устройствам Tiny Stat обеспечить соответствие наиболее жестким требованиям вибро- и ударостойкости стандарта MIL-S-24236. Они имеют чрезвычайно малое время реакции на изменение температуры, что позволяет получить раннее предупреждение о перегреве. Доступны приборы как с размыканием при повышении температуры (нормально замкнутые), так и с замыканием



Рис. 4. Внешний вид прецизионных термостатов аэрокосмического применения

при повышении температуры (нормально разомкнутые), конструктивное исполнение различается в зависимости от сферы предполагаемого применения (рис. 4). Например, для решений, где толщина датчика имеет первостепенное значение, рекомендуется использовать низкопрофильный 4ВТ-2, для установки на печатную плату — 3ВТ-2 или 3ВТ-15 со штырьковыми выводами и т. д. Предусматривается золочение контактов для надежного срабатывания, однако это покрытие не предназначено для больших нагрузочных токов (свыше 1 А). Термостаты Sensata сертифицированы по стандарту MIL-S-24236/13 (4ВТ) и MIL-S-24236/19 (3ВТ), а также NASA S-311-641/06 (4ВТ) и NASA S-311-641/07 (3ВТ). Сопротивление контактов не превышает 0,05 Ом (0,1 Ом для датчиков, работающих на замыкание с температурой срабатывания более 80 °C).

Серия термостатов 5ВТ в герметично запаянных корпусах, заполненных азотом, имеет расширенный температурный диапазон от -53,9 до +204,4 °C. Основные сферы применения включают телекоммуникационную аппаратуру и оборудование обработки информации, системы охлаждения, отопления и вентиляции. Конструкция с однополюсным переключающим контактом, мгновенно перебрасывающим нагрузку с одного вывода на другой, придает термостату большую универсальность и гибкость в использовании, объединяя в одном изделии две функции — управления и мониторинга заданной температуры. Один вывод может управлять вентилятором охлаждения, а второй вывод сигнализировать о возможной опасности. Компоненты данной серии выпускаются в нескольких модификациях, отличающихся типом контактов и способом крепления. Помимо стандартных штырьковых выводов с медно-никелевым покрытием, доступны версии с плоскими контактами, которые могут быть изогнуты под требуемыми углами для уменьшения общей высоты термостата.

Серия высокоточных термостатов М2 характеризуется малой величиной температурного дифференциала (разницы между температурами замыкания и размыкания) и большим количеством циклов срабаты-

вания (не менее 250 000). Величина дифференциала зависит от номинальной температуры срабатывания, устанавливаемой однократно на заводе, и для данной серии принимает значения от 1,1 до 2,8 °C (для диапазона от -17 до +121 °C) и от 1,7 до 3,9 °C (для диапазона от +122 до 149 °C). Низкопрофильные термостаты выполнены в герметичном металлическом корпусе, который защищает внутренние элементы от внешних воздействий и механических деформаций. Перед окончательной герметизацией датчик проходит вакуумную термообработку и заполняется азотом. Инертная атмосфера при нулевой влажности исключает образование конденсата при низкой температуре и возможные загрязнения контактов при высокой. Такое заполнение также улучшает изоляционные характеристики изделия и предотвращает окисление контактов. Запаянный после калибровки, датчик надежно защищен от вскрытия и неквалифицированной подстройки. Области применения: управляемые ракеты, авиационные датчики, сервоприводы, гироскопы, аэрофотоаппараты и т. д. Отдельные модификации могут крепиться различными способами: в отверстия металлических корпусов, в монтажные гнезда, в трубопроводы для контроля температуры воздуха и т. д. При необходимости они могут быть оснащены кронштейнами или шпильками для монтажа на плоскую поверхность.

Термостаты серий М1 и 11041 представляют собой герметично запаянные изделия с температурой срабатывания от -53,9 до +287,8 °C и повышенными вибро- и ударостойкостью, гарантирующими надежную работу в самых сложных условиях. Количество гарантированных циклов замы-

Таблица 5. Зависимость количества циклов срабатывания от нагрузки у термостатов серий М1 и 11041

30 В DC/AC	125 В AC	250 В AC	Количество циклов замыкания/размыкания
5 А	2 А	1 А	100 000
5,5 А	3 А	1,5 А	50 000
6 А	4 А	2 А	25 000
6,5 А	5 А	2,5 А	10 000
7 А	6 А	3 А	5000

кания/размыкания у данных моделей сильно зависит от параметров активной нагрузки.

Все компоненты этих серий выпускаются с одной парой нормально замкнутых или нормально разомкнутых контактов. В стандартном исполнении используются серебряные контакты. Также возможно покрытие контактов золотом для обеспечения надежного срабатывания при работе с малыми токами нагрузки.

Прецизионные концевые переключатели и реле давления

Наряду с рассмотренными выше устройствами на основе биметалла, у компании Sensata есть еще одна группа продукции, относящаяся к высоконадежному классу изделий. Это прецизионные концевые выключатели, обеспечивающие простое и эффективное управление переключениями для различных механизмов и представляющие собой датчики электромеханического типа, известные своей надежностью. Электромеханические выключатели Sensata относятся к устройствам контактного типа, которые активируются внешним плунжером или кнопкой, а также могут переключаться вручную (рис. 5). Кроме того, доступны компоненты, способные детектировать изменение давления и замыкать контакт переключателя или изменять электрический параметр в зависимости от некоторого предустановленного порога. К таковым относятся, например, семейство высококачественных реле давления 6PS [5].

Ключевые особенности данной группы устройств:

- миниатюрные герметично запаянные корпуса;
- превосходные вибро- и ударопрочность;
- максимальный коммутируемый ток до 4 А;
- оптимальны для маломощных цепей с рабочим напряжением до 30 В DC;
- диапазон температур эксплуатации от -170 до $+232$ °C;
- одно- и многополюсные варианты исполнения;
- возможность герметизации кнопки (по запросу);
- наличие моделей с угловым креплением для уменьшения высоты выключателя;
- сертификация на соответствие требованиям стандарта MIL-S-8805.

Миниатюрные быстродействующие выключатели компании Sensata являются идеальным решением для жестких условий эксплуатации. На протяжении уже многих лет они используются в бортовом оборудовании гражданских и военных воздушных судов, в космических навигационных и метеорологических спутниках. Их основные характеристики приведены в таблице 6, а типовые применения предусматривают:

- стойки шасси самолетов и вертолетов;
- авиационные двигатели;



Рис. 5. Внешний вид концевых выключателей Sensata

Таблица 6. Основные характеристики высоконадежных концевых выключателей Sensata

Серия	AT	3AT	4AT	10AT	KX	6PS		
Максимальный ток (при 28 В DC)	активная нагрузка	3	1	1	3	4	10	5
	индуктивная нагрузка	1	0,5	0,5	1	1	5	2
Количество циклов срабатывания	100 000	100 000	100 000	50 000	50 000	25 000	50 000	
Диапазон рабочих температур, °C	$-53,8...+135$	$-53,8...+232,2$	$-170,5...+135$	$-65...+135$	$-53,8...+135$	$-53,8...+135$	$-53,8...+135$	
Прочность изоляции вывод/корпус, В	1000	500	1000	1000	1250	1250		
Прочность изоляции вывод/вывод, В	800	500	800	800	1250	1000		
Ударостойкость	200g, (6 мс)				100g	—		
Вибростойкость	65g, при частоте 10–2000 Гц				20g	25g		
Сопротивление изоляции, МОм (при 500 В DC)	100	100	100	100	—	—		

- системы контроля влияния окружающей среды;
- контроль положения закрылков;
- тормозную систему;
- катапультируемые кресла пилотов;
- пусковые ракетные установки;
- оборудование для работы в открытом космосе.

Серия AT имеет наибольшую популярность вследствие минимально возможных размеров, превосходных показателей наработки на отказ, удобства в монтаже и применении. Выключатели изготавливаются в коррозионно-стойких металлических корпусах, обладающих повышенной ударопрочностью. Для потребителей доступны как серийно выпускаемые базовые версии с различными способами крепления, так и заказные изделия с выбранными типами и материалами электрических контактов, количеством полюсов, определенными конструктивными особенностями и т. д. Семейство высоконадежных выключателей состоит из четырех базовых моделей: AT, 3AT, 4AT и 10AT, каждая из них оптимизирована для определенных условий эксплуатации.

Стандартная версия AT рассчитана на активную нагрузку 3 А при напряжении 28 В DC, механическая долговечность превышает 100 000 циклов срабатывания. 3AT является высокотемпературной модификацией предыдущего выключателя и отличается от него меньшим допустимым током нагрузки — не более 1 А при том же рабочем напряжении. 4AT, наоборот, предназначен для эксплуатации в условиях пониженных температур, поэтому находит широкое применение в космических программах. Максимальные ток и напряжение те же, что и у типовой версии AT, производителем гарантируется 50 000 циклов переключения. Наконец,

10AT — низкотемпературный выключатель с повышенным до 4 А значением активной нагрузки и механической долговечностью 50 000 циклов. Модификация 10AT проходит сертификацию на соответствие требованиям военного стандарта MIL-S-8805. На основе этих базовых моделей предлагается большое разнообразие изделий с головками, оснащенными рычагами с роликом или штоками различной конструкции и формы.

Компактные выключатели серии KX, представляющие собой однополюсную группу переключающихся контактов, изготавливаются в герметично запаянных металлических корпусах, предназначенных для эксплуатации в условиях воздействия пониженных или повышенных давлений и температур от $-53,8$ до $+190,5$ °C. Их отличительной характеристикой является использование переключающего элемента в специальной форме, напоминающей часть синусоиды, как показано на рис. 6. Малые габариты способствуют удобству монтажа в ограниченном пространстве, крепление проводов на выключатель осуществляется при помощи винтового соединения либо пайкой лепестковых выводов. Форма и длина клемм может варьироваться в зависимости от требований заказчика.



Рис. 6. Внутренняя структура выключателей серии KX

Серия 6PS — прецизионные мембранные переключатели, коммутирующие рабочие токи на исполнительные механизмы и срабатывающие в результате воздействия на них рабочего давления измеряемой среды. Рабочей средой для реле является воздух, моторные и трансмиссионные масла, топливо для реактивных двигателей и т. д. Они применяются в оборудовании, которое постоянно подвергается воздействию химических реагентов, резкому перепаду температур и другим сложным внешним факторам — например, в трансмиссиях двигателей, гидравлике, тормозах, рулевых приводах, системах подачи топлива. Устройства, функционирующие в подобных условиях, должны обладать хорошей коррозионной стойкостью, поэтому корпуса всех переключателей изготавливаются

из стали 300-й серии. Величины давлений, при которых происходят замыкания и размыкания контактов, настраиваются в пределах от 45 до 600 psi с погрешностью $\pm 4\%$. При превышении данного диапазона переключатели могут работать некоторое количество циклов без потери точности срабатывания, а максимальное давление, приводящее к неустраняемым повреждениям реле, составляет 8000 psi.

Заключение

Высоконадежные изделия Sensata Technologies гарантируют высокую надежность на отказ в самых суровых условиях эксплуатации. Качество компонентов, полностью соответствующих требованиям международных и отраслевых стандартов,

подтверждено многолетним опытом эксплуатации в оборудовании гражданской и военной авиации, а также в различных космических программах. Гибкая система опций предлагает разработчикам практически неограниченные возможности в подборе оптимального компонента для конкретного приложения. ■

Литература

1. www.sensata.com
2. Aircraft Circuit Breakers. Aerospace & Defence // Selector Guide. Oct. 2013.
3. Precision Products. Thermal, Position, Pressure & Airflow // Selector Guide. Oct. 2013.
4. Precision Thermostat & Switches. Aircraft Application Portfolio. May 2014.
5. Precision Switches // Selector Guide. Feb. 2013.