

ЭНКОДЕРЫ И ДАТЧИКИ ZETTLEX – НОВЫЙ ПОДХОД К ИЗМЕРЕНИЮ СКОРОСТЕЙ ВРАЩЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ

А.Голощапов gol_a@aviton.spb.ru

Среди огромного многообразия датчиков, представленных на мировом рынке, датчики компании Zettlex Co Ltd. (Великобритания) занимают особое положение – они обеспечивают высокую точность измерений в жестких условиях эксплуатации. Zettlex – независимая частная компания, основанная в 2004 году коллективом инженеров с большим опытом в области разработок электронных изделий. Направление деятельности компании – разработка и производство датчиков положения – сформулировано в ее девизе: "Высокоточные измерения в экстремальных условиях". Разработанная компанией уникальная бесконтактная технология индуктивных измерений позволяет создавать широкий спектр компактных и легких датчиков для различных применений. Основа датчиков Zettlex – печатные платы – предоставляет большие возможности при изготовлении изделий различных конструкций, которые легко встраиваются в ограниченные пространства или пространства необычной формы.

ТЕХНОЛОГИЯ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ДАТЧИКОВ ZETTLEX

В традиционных индуктивных датчиках используются обмотки из медного провода, которые делают их громоздкими и дорогими. Zettlex применяет специализированную бесконтактную технологию с использованием эластичных печатных плат для минимизации размеров и веса датчика при его максимальной точности.

Это позволяет создавать компактные, точные, легкие и одновременно надежные датчики положения, которые не имеют контактных поверхностей, подшипников и чувствительных к внешним воздействиям элементов и не требуют обслуживания.

В основе бесконтактной технологии, разработанной компанией Zettlex, лежат известные

физические законы электромагнитной индукции. В датчиках Zettlex используется магнитное поле промежуточной зоны, или зоны интерференции, в которую входит поле, близкое к проводнику. Поле в этой зоне имеет сравнительно однородную напряженность и формируется в виде петли с радиусом r (рис.1).

Передающая (T_x) и приемная (R_x) катушки связаны уравнением

$$V_{RX} = -KdI_{TX}/dt,$$

где V_{RX} – напряжение, наводимое в приемной катушке; K – коэффициент взаимной индукции, зависящий от взаимного расположения катушек, их формы, расстояния и количества витков; dI_{TX} – скорость изменения тока в передающей катушке.

Для иллюстрации принципа работы датчиков Zettlex рассмотрим в качестве примера датчик линейного перемещения (рис.2). Он состоит из трех основных частей: мишень (ротор), антенна (статор) и электронный модуль.

Мишень – пассивное, проводящее устройство, обычно изготавливается в виде печатной платы. Статор представляет собой плоский массив проводников, которые расположены как передающие и приемные цепи вдоль и поперек оси измерения. В нашем примере ось прямолинейная, однако она может иметь и другие формы – быть изогнутой, вращающейся, двух- или трехмерной. Обычно (но не всегда) проводящие дорожки изготавливаются на печатных платах. Так как в основе работы датчика лежит явление взаимной индукции, то в датчике любой формы каждая составная часть может быть как статором, так и мишенью, т.е. подвижная часть не обязательно является пассивным элементом.

Модуль электроники подает питание на статор, обеспечивает прием и обработку обратных сигналов изменений электромагнитного поля, а также выдачу электрических сигналов, описывающих положение мишени относительно статора по оси измерений. Датчик с вращающейся осью измерений приведен на рис.3.

При подаче сигналов переменного тока статор генерирует локальное электромагнитное поле. Попадание мишени в это поле вызывает возмущения, которые, в свою очередь, воспринимаются статором. Получаемый сигнал электромагнитного возмущения обрабатывается электронным модулем, и на его выходе появляется сигнал, соответствующий положению мишени относительно оси измерения на статоре. Возможно также одновременное определение положения нескольких мишеней относительно одного статора.

В рамках технологии измерений Zettlex учитываются перемещения мишени только вдоль оси измерений (движение в других направлениях игнорируются), поэтому возможна реализация высокоточных измерений положения без дорогих механических конструкций. Так, например, увеличение зазора между мишенью и статором с 3 мм до 3,3 мм приведет лишь к незначительному влиянию на измеренное положение. Однако если относительное положение мишени и статора изменится таким образом, что появится составляющая смещения, направленная вдоль оси измерения, то измеряемое смещение изменится на величину, эквивалентную как минимум одному разряду разрешающей способности.

Верхний предел перемещения мишени по нормали к оси измерений определяется верхней границей электромагнитного поля в зоне интерференции, создаваемого статором. Обычно номинальное или проектное расстояние между статором и мишенью составляет <50% от максимального расстояния, указанного в параметрах датчиков.

ОСНОВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ ДАТЧИКОВ

Мишень. Это пассивная электрическая цепь, сформированная простыми витками проводников или набором проводящих дорожек на печатной плате. Мишени покрываются защитным покрытием (лакирование), герметизируются или размещаются в корпусах (по технологии литья под давлением), если условия окружающей среды требуют этого. Как правило, мишени закрепляются на подвижных элементах конструкции изделия. Они (мишени) могут различаться по размерам (от нескольких миллиметров до нескольких метров) и форме.

Статор. Обычно изготавливается в виде плоского массива проводников, которые образуют

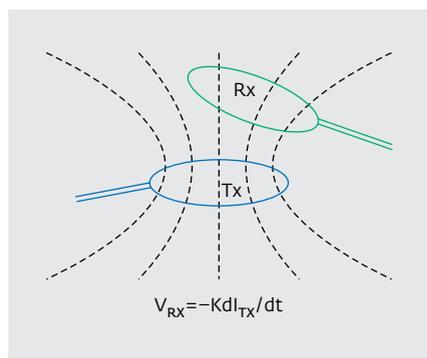


Рис.1. Напряженность магнитного поля

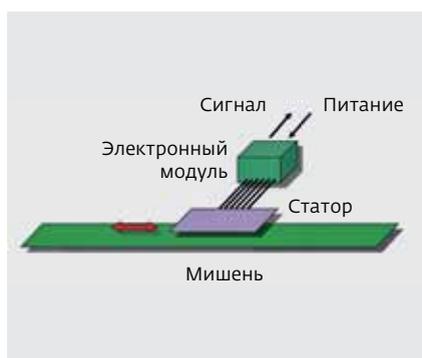


Рис.2. Структура датчика линейных перемещений

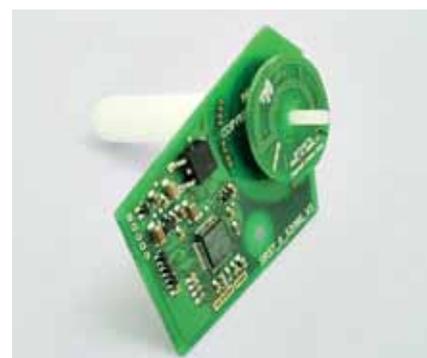


Рис.3. Конструкция датчика вращения

цепи передачи и приема. Они расположены вдоль и поперек оси измерений статора. Обычно цепи выполнены в виде дорожек на печатной плате, в качестве которой наиболее часто используются многослойные печатные платы (FR4). Статор может быть также напечатан с использованием электропроводящих чернил на гибком основании из полиэстера (рис.4). Основа статора – непроводящий материал. В условиях экстремальных температур в качестве основы предпочтительно применение керамики или полиамида. Для изготовления статоров также можно использовать простые обмотки из проводов или витки, напечатанные проводящими чернилами. Статоры имеют различные размеры – от нескольких миллиметров до нескольких метров, а изготовленные методами печатной электроники – вплоть до площади листа формата А0 и по длине до 2700 мм. Статоры больших размеров могут быть изготовлены из проводов, которые наматываются на штифты, формирующие требуемую форму обмотки. Такие конструкции подходят для применения при высоких температурах или для недорогих (но с более низкой точностью) обмоток.

Модуль электроники. Он включает в себя блок питания, цепи защиты от перенапряжения и обратной полярности (при необходимости), схему передачи (в том числе тактовый генератор), схему приема, микроконтроллер и электрический выходной интерфейс. Датчик Zettlex с интегрированной специализированной электроникой показан на рис.3.

Используется стандартный ряд напряжений питания: 3,3; 5; 10; 12; 24 и 28 В. Потребляемая мощность пропорциональна частоте опроса датчика. Например, потребление датчика с частотой опроса 1000 раз в секунду может быть 50 мВт, тогда как при частоте опроса один раз в секунду оно может составить 50 мкВт.

Модуль электроники, как правило, располагается на одной печатной плате со статором (см. рис.3). При необходимости блок электроники может быть вынесен за пределы датчика и подключен к статору с использованием проводов или гибко-жесткой конструкции печатной платы. Удаленная установка блока электроники выгодна в двух случаях:

- если применяется несколько статоров, подключенных к одному центральному блоку электроники, который обеспечивает мультиплексирование подключений к различным статорам;
- в жестких условиях эксплуатации, когда требуется разместить электронный модуль в более

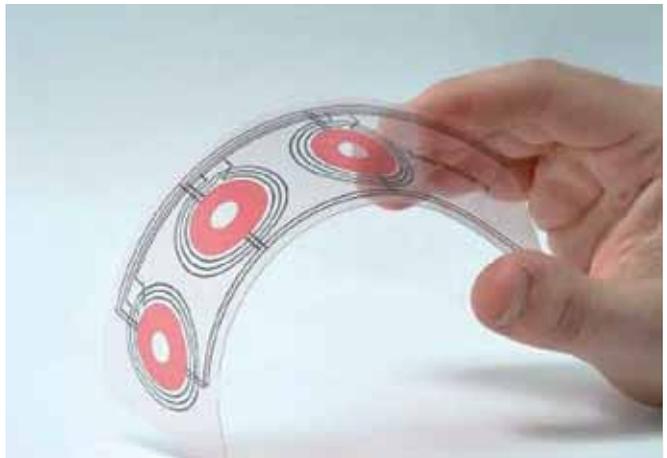


Рис.4. Гибкий статор

благоприятной среде, чем та, в которой располагаются статор и/или мишень.

Расстояние между блоком электроники и статором может быть от нескольких миллиметров до нескольких метров. Максимальное расстояние определяется четырьмя факторами:

- размерами статора и мишени;
- связью между статором и мишенью;
- окружающей электромагнитной обстановкой;
- характеристиками соединительных проводов.

Электронный модуль имеет набор выходных аналоговых и цифровых интерфейсов. Аналоговые выходы: 0–5 В; 0–10 В, 4–20 мА (2- или 3-проводные), ШИМ, протокол HART и sin/cos 1 В.

Цифровые интерфейсы: RS232, RS485, SPI, SSI, квадратурные импульсы A/B, MODbus, шина CAN. Электронный модуль может быть изготовлен во взрывозащищенном (наличие искробезопасной электрической цепи) исполнении. Также доступны модули, не содержащие компонентов, подпадающих под экспортные ограничения ITAR (International Traffic in Arms Regulations).

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ДАТЧИКОВ

Разрешение. Как правило, датчики Zettlex измеряют абсолютное положение с разрешением от 10 до 24 бит от полной шкалы ($1024 \cdot 16,7 \cdot 10^6$ импульсов). Разрешение ограничивается аналого-цифровым преобразователем, который располагается либо в блоке электроники Zettlex, либо в приложении заказчика. Наиболее часто поставляются датчики с разрешением от 10 до 20 бит.

Повторяемость результатов измерений. В датчиках, изготовленных по технологии Zettlex, отсутствует гистерезис, что обеспечивает точность измерений ± 1 LSB (младший значимый бит).

Линейность. Для внесения ясности следует различать заводскую (начальную, необработанную, исходную) линейность и калиброванную линейность. Калиброванная линейность соответствует линейности датчика после его калибровки на месте установки в составе приложения, т.е. когда компенсируются эффекты неточности механического монтажа. Заводская линейность – это линейность, достигаемая датчиками при условии, когда статор и мишень устанавливаются с соблюдением определенных механических допусков.

Для датчиков линейного перемещения стандартная заводская линейность оценивается следующим образом:

- 0,1% на каждые 5 мм шкалы, если мишень и статор установлены в системе с плавным, хорошо управляемым относительным движением (например, допуски механических компонентов всего приложения <0,1 мм). Так, если линейный датчик имеет шкалу 50 мм, мишень и статор были установлены в систему линейного перемещения с плавным ходом на подшипниках скольжения, то ожидаемая заводская линейность датчика Zettlex может достигать 0,01% от полной шкалы.
- 0,25% на каждые 5 мм шкалы, если мишень и статор установлены в системе без точного управления относительным движением (например, допуски установочных размеров 0,25 мм). В этом случае при длине шкалы линейного датчика 50 мм ожидаемая заводская линейность будет 0,025% от полной шкалы.
- <0,5% от полной шкалы, если мишень и статор установлены таким образом, что относительное движение вдоль оси измерений относительно свободно.

Для вращающегося или криволинейного датчика заводская линейность рассчитывается, в принципе, так же, но при этом учитываются размеры (как правило, каждые 5 мм) эффективной длины статора или мишени. Обычно эта величина (эффективная длина) вычисляется как длина окружности или дуги, в которых радиус – это среднее значение внешнего и внутреннего радиусов обмоток, ближайших к краю статора и ближайших к центру мишени соответственно. Если датчики Zettlex калибруются после их установки в изделие с использованием отсчетного устройства (например, высокоточного оптического датчика или координатно-измерительной машины), то можно ожидать, что при 10 точках калибровки значение заводской линейности уменьшится в два раза, а при 1000 точках калибровки – в десять раз.

Как правило, наибольшая линейность достигается при установке статора и мишени в систему с плавным, повторяемым механическим смещением и с электронным модулем, который выдает данные в цифровом виде (RS485, SSI, SPI и др.).

Температурная стабильность. Описывает стабильность показаний датчиков по отношению к изменениям температуры, т.е. изменение показаний на выходе датчика положения в неподвижном состоянии при изменении температуры.

Так как в датчиках Zettlex используются стабильный алгоритм измерений, то, как следствие, они обеспечивают очень низкие температурные коэффициенты по сравнению с датчиками Холла или магнитными устройствами.

Так, датчики семейства Zettlex IncOder имеют температурный коэффициент <0,25 ppm/К. Это значит, что, если показания датчика считываются (в неподвижном состоянии) при 20°C, то они (показания) могут изменяться на 2,5 ppm (частей на миллион) при повышении температуры до 30°C без какого-либо физического перемещения датчика. Это изменение соответствует примерно 3".

Тепловые коэффициенты вращающихся датчиков меньше, чем линейных, потому что тепловое расширение основных частей, как правило, имеет радиальное направление и, следовательно, является общим для статора и мишени.

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ

Электромагнитное излучение. Датчики Zettlex – источники электромагнитных излучений, но на практике величина поля с увеличением расстояния от датчика уменьшается в соответствии с законом $1/r^3$. Поэтому в дальней зоне излучение от датчика пренебрежимо мало за счет быстрого естественного затухания. Датчики Zettlex рекомендуются устанавливать в системы, которые не должны создавать электромагнитные помехи близкорасположенному оборудованию.

Электромагнитная восприимчивость. Технология измерений датчиков Zettlex специально разработана для надежной работы в условиях сильных электромагнитных помех, они могут размещаться в непосредственной близости к двигателям либо к обмоткам двигателей (этого требует примерно треть всех приложений). Датчики Zettlex невосприимчивы к электромагнитным помехам, так как:

- работают на определенной частоте, соответствующей собственной частоте мишени;
- принимают сигналы только пиковых амплитуд и в противофазе излучению;

- "рисунок" проводников на статоре формируется в виде сбалансированных диполей ("плоская" витая пара).

Последний фактор приводит к тому, что если входные помехи (электромагнитные сигналы или шум) вызовут появление тока в одной части обмотки статора, то в другой части этой обмотки тоже возникнет ток, равный по амплитуде и противоположный по направлению, и компенсирует этот эффект (рис.5). Это наиболее важное свойство датчиков Zettlex.

В некоторых случаях (например, около военных радиолокационных установок или в аппаратах МРТ), где присутствуют очень высокие напряженности поля, любые электрические системы будут подвержены электромагнитному насыщению, если они не экранированы. Для применения в таких условиях внешние поверхности статора и мишени датчиков Zettlex покрываются тонким слоем меди. Такое покрытие работает как простая, но эффективная (и недорогая) клетка Фарадея, защищающая датчики от сильных полей.

Температура. Индуктивная бесконтактная технология датчиков Zettlex не восприимчива к изменениям температуры. Если проводимость дорожек статора и уровень сигнала может меняться с изменением температуры, то массив из проводников статора сформирован так, что любое изменение самокомпенсируется и поэтому не влияет на результаты измерения. Это означает, что датчики Zettlex могут работать точно и надежно в условиях низких или высоких температур и при изменении температуры окружающей среды.

Материалы, из которых изготавливаются компоненты датчиков, ограничивают диапазон рабочих температур и температур хранения. Для датчиков начального уровня эффективный диапазон температур может быть ограничен – от -40 до 85°C или до 125°C. Этот предел можно преодолеть, если расположить электронику датчика за пределами статора. Датчик устанавливается в конечное изделие таким образом, что только статор и мишень находятся в экстремальных условиях, в то время как блок электроники расположен в более благоприятной среде, например, за тепловым барьером. А если в дополнение к такой конструкции датчика для изготовления его элементов применять керамику, полиамид или стекло, то датчики смогут работать и в более экстремальных условиях – в диапазоне температур от -55 до 230°C.

Влажность. Датчики Zettlex не чувствительны к воздействию влаги и влажности, т.е.

измеряемая величина не изменяется даже при погружении его в жидкости с низкой проводимостью. Чаще всего компоненты датчиков имеют защитное лаковое покрытие, но оно рекомендуется для случаев, когда воздействие жидкостей – временное. Если датчики планируется применять в системах, где воздействие жидкостей будет частым или постоянным, то компоненты датчика имеют эпоксидную герметизацию или корпусируются по технологии литья под давлением. На точность измерений датчика не влияет вид жидкости, в которую погружается датчик (соленая или пресная вода, пар, масло, дизельное топливо, бензин), или влажность пара.

Химическая устойчивость. Датчики Zettlex могут работать в относительно агрессивных химических средах. Материалы, из которых изготавливается корпус или покрытие датчика, определяют устойчивость к жидкостям и химикатам. Помимо конформного лакового покрытия, эпоксидной герметизации или применения технологии литья под давлением в экстремальных условиях компоненты датчиков могут быть полностью закрыты кожухом из нержавеющей стали.

Срок службы. Срок службы датчиков Zettlex определяется сроком службы компонентов мишени и статора. На практике требуемый срок службы – 20 лет. При этом, как правило, датчики не требуют периодических проверок, ремонта или обслуживания, так как в них применяется бесконтактная технология измерения.

Удары и вибрация. Точность датчиков Zettlex при вибрационных или ударных нагрузках определяется точностью компонентов, установленных в мишени и статоре. Для применения в условиях, когда интенсивность таких нагрузок высока, компоненты датчиков покрываются жесткой и/или мягкой эпоксидной смолой. Датчики Zettlex выдерживают ударную нагрузку до 1000 г в течение 10 мс.

Особо надо отметить устойчивость конструкций датчиков в условиях вибрационных и ударных воздействий, типичных для воздушно-десантных или бронированных наземных транспортных средств. Как правило, наиболее уязвимые компоненты любых электронных систем в условиях сильных ударов и вибраций – это разъемы. В датчиках Zettlex разъемы исключаются или их количество сводится к минимуму за счет применения либо проводных соединений, либо гибко-жесткой конструкции печатных плат.

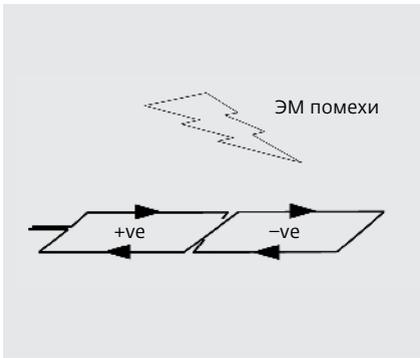


Рис.5. Компенсация ЭМ помех в датчиках Zettlex

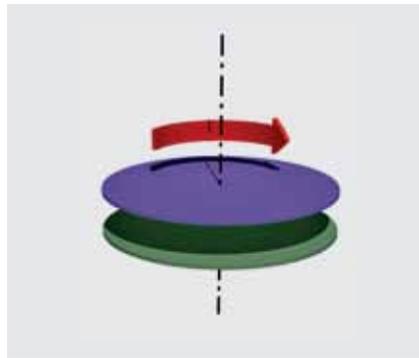


Рис.6. Датчик вращения, соосная установка мишени и статора

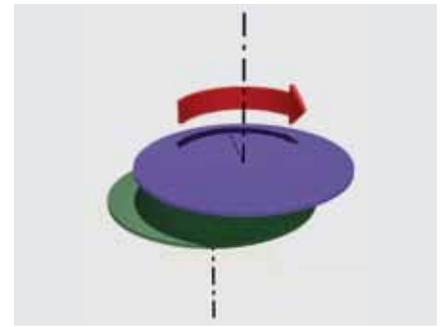


Рис.7. Датчик вращения, несоосная установка мишени и статора, диаметры мишени и статора одинаковые

ФОРМЫ ДАТЧИКОВ

Существует множество возможных форм и размеров датчиков. Краткий обзор основных возможных вариантов исполнения приведен ниже.

Датчик вращения, соосная установка мишени и статора (рис.6). Максимальное расстояние между мишенью и статором составляет около $\frac{1}{4}$ эффективного диаметра статора или мишени. Датчик может быть сконструирован в виде кольца с полым валом (проводящего или непроводящего материала) или для монтажа на "конце вала" без сквозного отверстия. Измерение положения - абсолютное от 0 до 360° без резкого изменения показаний при переходе от 0 к 360°. Основное применение: вращающийся энкодер с полым валом для системы управления бесколлекторного двигателя.

Датчик вращения, несоосная установка мишени и статора (рис.7). Максимальное расстояние между мишенью и статором - около $\frac{1}{4}$ эффективного диаметра статора или мишени. Максимальное осевое смещение зависит от ряда факторов. Как правило, оно составляет от 0 до 10% от диаметра статора или мишени без существенного влияния на точность измерений. При такой конструкции и статор, и ротор имеют одинаковый диаметр и допускается смещение осей этих частей датчика относительно друг друга на указанную выше величину.

Так же как и у датчика с соосной установкой мишени и статора, измерение положения - абсолютное от 0 до 360° без резкого изменения показаний при переходе от 0 к 360°. Применяется датчик с несоосной установкой мишени и статора как вращающийся энкодер

привода рольганга, в котором центральная ось меняет положение. Устанавливается на "конце вала".

Датчик вращения, несоосная установка мишени и статора (см.рис.8). Максимальное расстояние между мишенью и статором составляет около $\frac{1}{4}$ эффективного диаметра статора или мишени. Центр вращения мишени может изменяться в пределах статора, но внешний край окружности мишени не должен выходить за его (статора) пределы.

Такая компоновка позволяет реализовать измерения в условиях, когда смещение оси вала, на котором установлена мишень, относительно неподвижной части агрегата, к которой крепится статор, будет больше, чем в предыдущем варианте (более 10% диаметра мишени). При этом необходимо использовать статор большей площади, чтобы мишень не выступала за пределы статора при измерении вращения вала, перемещающегося в значительных пределах.

Диапазон измерений - от 0 до 360° без резкого изменения показаний при переходе от 0 к 360°. Основное применение: как вращающийся энкодер

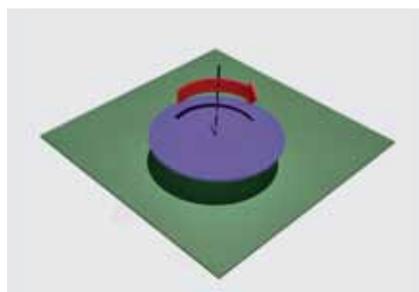


Рис.8. Датчик вращения, несоосная установка мишени и статора, размеры мишени и статора разные

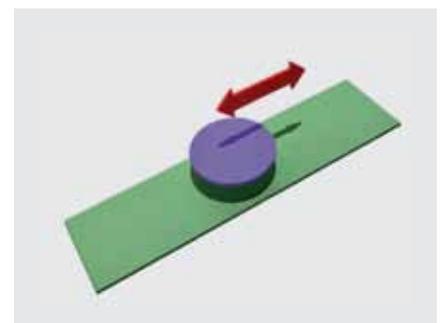


Рис.9. Датчик линейного перемещения

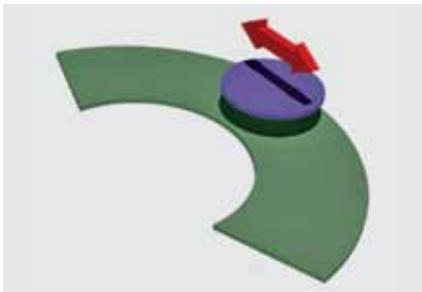


Рис.10. Криволинейный датчик, ось измерения совпадает с осью вращения (вариант А)

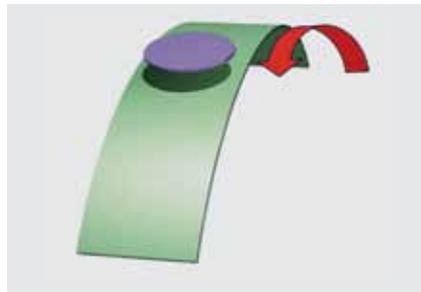


Рис.11. Криволинейный датчик, ось измерения направлена радиально (вариант Б)

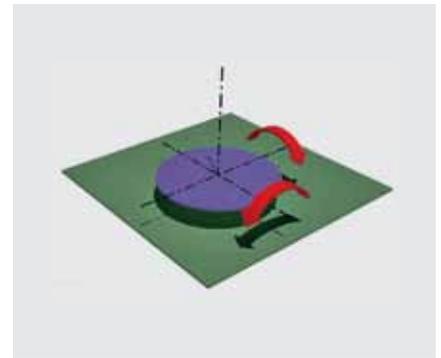


Рис.12. Датчик крена и тангажа

подвесных и пружинных валов, устанавливается на "конце вала".

Датчик линейного перемещения (рис.9). Максимальное расстояние между мишенью и статором составляет около $\frac{1}{2}$ эффективной ширины статора или мишени. Максимальное смещение мишени перпендикулярно оси измерения (но в одной плоскости со статором) зависит от ряда факторов, но, как правило, оно составляет от 0 до 10% от ширины статора или мишени без существенного влияния на точность измерений. Измерение положения – абсолютное, но при этом, чтобы избежать краевых эффектов, желательно ограничить диапазон перемещений мишени – он должен быть не более 80% длины статора.

Основное применение: определение положения элемента машины/станка.

В этом варианте исполнения геометрию датчика можно изменить: статор сделать коротким, а длину мишени увеличить вдоль оси измерения.

Криволинейный датчик имеет два варианта исполнения – ось измерения соосна оси вращения (рис.10, вариант А) и ось измерения направлена радиально (рис.11, вариант Б). Максимальное расстояние между мишенью и статором – около $\frac{1}{2}$ эффективной ширины статора или мишени.

Максимальное смещение мишени перпендикулярно оси измерения зависит от ряда факторов, но, как правило, оно составляет от 0 до 10% от ширины статора или мишени без существенного влияния на точность измерений. Измерение положения – абсолютное, желательно ограничить диапазон перемещений мишени – не более 80% длины статора.

Диапазон измерений – от 0 до 360° без резкого изменения показаний при переходе от 0 к 360°. При этом датчик может быть настроен как на выдачу результатов измерения расстояния, так и измерение угла поворота от центральной точки по изгибу статора.

Основное применение для варианта А: точное измерение угла в системах с большими радиусами, таких как огневые турели или опоры антенн радаров; для варианта Б: точное измерение угла в системах с большими диаметрами вала.

Датчик крена и тангажа (рис.12), **датчик крена, тангажа и рыскания** (рис.13). Максимальное расстояние между мишенью и статором составляет около $\frac{1}{3}$ эффективной ширины мишени. Этот предел определяет диапазон измерений, составляющий обычно от 0 до $\pm 45^\circ$ для каждой оси вращения. Измерение положения – абсолютные.

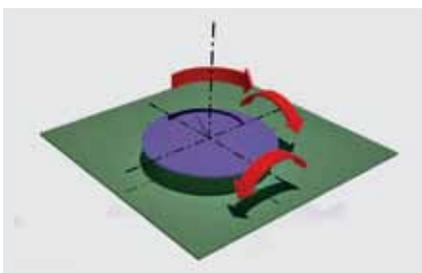


Рис.13. Датчик крена, тангажа и рыскания

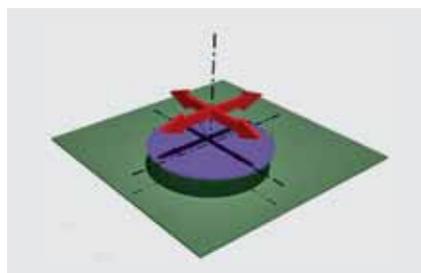


Рис.14. Датчик 2-мерного перемещения

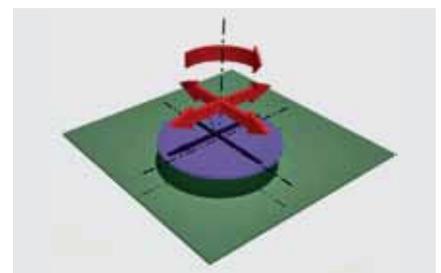


Рис.15. Датчик 2-мерного перемещения + вращения

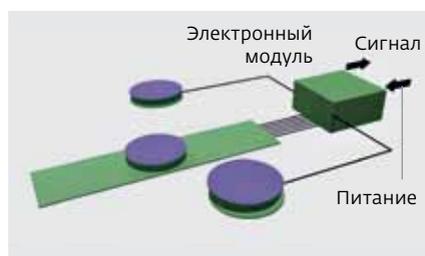


Рис.16. Структура мультисенсорного датчика



Рис.17. Датчики серии Tandem

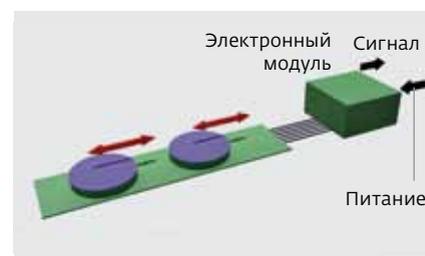


Рис.18. Датчик линейного перемещения с двумя мишенями

Основное применение: джойстики, измерение наклона.

Датчик 2-мерного перемещения (рис.14). Максимальное расстояние между мишенью и статором составляет около $\frac{1}{2}$ эффективной ширины мишени. Измерение положения является абсолютным, но при этом желательно ограничить ход мишени $<90\%$ эффективной длины или ширины статора, чтобы избежать краевых эффектов. Основное применение: джойстики, игры и устройства ввода пером.

Датчик 2-мерного перемещения + вращение (рис.15). Максимальное расстояние между мишенью и статором – около $\frac{1}{4}$ эффективной ширины

мишени. Измерение положения – абсолютное, желательно ограничить ход $<80\%$ эффективной длины или ширины статора, чтобы избежать краевых эффектов. Основное применение: джойстики.

Мультисенсорные системы (рис.16). Электронные модули Zettlex могут применяться и для многоканального подключения ряда датчиков благодаря возможности размещать электронный модуль отдельно от статора и мишени. Даже если принимаемые сигналы имеют относительно высокие амплитуды, их последующая обработка выполняется с достаточной надежностью.

Поскольку мишени и статоры относительно дешевы в производстве, то многоканальное подключение к одному электронному модулю дает высокий экономический эффект, так как стоимость модуля электроники распределяется на несколько чувствительных элементов, в результате чего расходы на один датчик минимизируются.

Датчики, изображенные на рис.17, представляют собой пару датчиков вращения, подключенных к одному электронному модулю, расположенному на одной печатной плате с одним из статоров. Такая конструкция особенно выгодна для установки в системах с карданными подвесами для видеокамер, антенн радаров и систем вооружения. В этом случае взаимосвязь между вторым статором и электронным модулем обеспечивается проводами в виде "витых пар".

Существуют различные недорогие способы реализации подключений между чувствительными элементами и электронным модулем. Обычно для подключения используются дорожки на печатных платах или гибкие соединения Flexi-PCB, или кабель с витой парой категории 5, или гибкие проводники на жестко-гибких печатных платах.

Максимальное количество чувствительных элементов, подключаемых к одному электронному модулю, определяется максимально допустимым временем отклика от входа данного датчика. Если, например, имеем систему со временем цикла измерений 1 мс для каждого датчика и максимально допустимым временем отклика 25 мс, то максимальное количество датчиков, которое можно подключить к блоку электроники, будет равно 25.

Это ограничение может быть преодолено за счет применения более сложных алгоритмов мультиплексирования. Например, повышением частоты опроса наиболее часто используемых датчиков или снижением частоты опроса редко используемых датчиков.

Максимальное расстояние, на которое статор может быть отнесен от электронного модуля, определяется следующими факторами: физическими размерами статора и мишени; коэффициентом связи между статором и мишенью; электромагнитной обстановкой.

Как правило, если мишень и статор – большие, с относительно малым расстоянием между ними (и, следовательно, с хорошим коэффициентом связи), то допустимы расстояния между статором и электронным модулем до нескольких метров.

Сложности электромагнитной совместимости при использовании длинных кабелей или соединительных линий могут быть преодолены за счет использования экранированной витой пары и разъемов.

Если надо проводить измерения положения нескольких мишеней, то не обязательно применять несколько статоров – один статор может отслеживать несколько целей. Возможна реализация системы с восемью мишенями на один статор без резкого изменения в сложности или стоимости электронного модуля.

Допустима система Zettlex, содержащая несколько целей на одном статоре с дополнительной парой "мишень и статор" (рис.18). Когда несколько чувствительных элементов или мишеней, или статоров контролируются центральным электронным модулем, то целесообразно использовать один общий цифровой выход данных, а не множество аналоговых (0–5 В) или ШИМ-выходов, чтобы минимизировать объемы электроники, количество разъемов и расходы электрического кабеля.

Ключевые особенности датчиков Zettlex:

- высокая надежность и прочность в жестких условиях окружающей среды, таких как влажность, наличие посторонних веществ или экстремальные температуры;
- высокая точность;
- обеспечивают высокое разрешение и отличную повторяемость;
- несколько чувствительных элементов могут работать от одного блока электроники;
- невосприимчивы к электромагнитным полям;
- устойчивы к механическим смещениям;
- обеспечивают абсолютные и инкрементальные измерения положения;
- могут работать с несколькими различными мишенями и одновременно измерять положение каждой из них в отдельности;
- подходят для приложений с необычной или сложной геометрией датчиков;
- имеют большой срок службы.

Как правило, датчики Zettlex целесообразно применять, когда к проектируемой измерительной системе предъявляются требования, два или более из которых соответствуют перечисленным выше особенностям датчиков.

Ссылки:

<http://www.zettlex.com/docs/72/zettlex-technical-notes-8.3.pdf>

<http://www.zettlex.com/docs/131/lzet32-how-inductive-sensors-work-final.pdf>

Преимущества и перспективы использования силиконовых клавиатур, устойчивых к низким температурам

Холдинг RCM group сообщает о расширении до -60°C низкотемпературного диапазона использования силиконовых клавиатур.

Клавиатуры используются в различных областях промышленности, в составе медицинской аппаратуры, электроаппаратуры, техники специального назначения. К устройствам ввода предъявляются особые требования по надёжности, пылевлагозащитности, устойчивости к температурам.

Эксплуатировать клавиатуры и трекболы, которые обеспечивают безотказную работу всего вычислительного комплекса, приходится не только в неблагоприятных, но и в экстремальных условиях. Производители промышленных клавиатур стараются сделать достаточно простое устройство устойчивым к воздействиям среды, разрабатывая устройства ввода, которые адаптированы к различным областям применения. В итоге клавиатура защищена как конструктивными особенностями, так и материалами, которые используются при ее изготовлении.

Силиконовые клавиатуры находят большое применение в различных изделиях благодаря следующим преимуществам:

- невысокая себестоимость
- стойкость к воздействию агрессивных сред, герметичность
- широкий диапазон рабочих температур
- огромный ресурс работы (ресурс работы силиконовой клавиатуры

почти на порядок выше, чем мембранной, – 20 млн. нажатий)

- в отличие от традиционных кнопочных переключателей, силиконовые клавиатуры более технологичны и легко монтируются на печатные платы
- тактильный эффект
- бесшумность
- диапазон размеров клавиш силиконовой клавиатуры практически не ограничен, в то время как размер контактной зоны мембранной клавиатуры $12,5 \times 12,5$ мм, что неприемлемо, например, для малогабаритных электронных устройств.

До настоящего времени оставался открытым вопрос о возможности применения силиконовых клавиатур при пониженных температурах. Клавиатуры из стандартных силиконов при достижении температур от -45 до -50 становятся жесткими и утрачивают свои функции.

В результате многочисленных исследований, а также последующих за ними многочисленных испытаний различных материалов с улучшенными характеристиками мы можем обеспечить поставку силиконовых клавиатур с температурой эксплуатации от -60°C .

Расширение пределов низкотемпературного диапазона силиконовых клавиатур увеличивает возможности их применения в различных областях. Широкое применение таких клавиатур в мобильных телефонах, станках ЧПУ, осциллографах, пультах управления, в медицинском оборудовании

Механические и электрические характеристики силиконовой резины

Параметр	Значения
Температура использования, $^{\circ}\text{C}$	от -60 до $+250$
Удельная масса	1,16
Предел прочности на разрыв, кг/см	90
Прочность на разрыв, кгс/см	13
Остаточная деформация при сжатии, %	10 (180°C , 22 ч)
Относительное удлинение при разрыве, %	350
Объемные сопротивления, Ом/см	8-104
Контактное сопротивление, не более, Ом:	
резиновые контакты	100
нанесенное покрытие (печать)	500
Максимально допустимая мощность включения или отключения контактов (постоянный ток), Вт	1
Дребезг контактов, мс	< 15
Пробой изоляции, кВ/мм	20
Цвета	все возможные
Диэлектрическая постоянная	4,2 (50 Гц)
Диэлектрическое отклонение, %	13 (50 Гц)
Уровень защиты по IP	IP65 – IP68

и т.д. говорит о надежности и практичности силиконовых клавиатур при работе в различных условиях эксплуатации. Это обеспечивает широкие перспективы внедрения силиконовых клавиатур, имеющих неоспоримые преимущества перед другими средствами ввода информации.

Сравнительные технические характеристики силиконовых и мембранных клавиатур

Технические характеристики	Тип клавиатуры	
	силиконовая	мембранная
Усилие нажатия, г	20...500	150...300
Ход клавиши, мм	0,1...4,0	0,15...0,5
Диапазон рабочих температур, $^{\circ}\text{C}$	$-60...+250$	$-25...+60$
Средний срок службы, лет	25	10
Технический ресурс, млн. нажатий	20	3