

ЭНКОДЕРЫ И ДАТЧИКИ ZETTLEX НА ОСНОВЕ НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ИНДУКТИВНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

А.Голощاپов gol_a@aviton.spb.ru

Индуктивные датчики широко используются для измерения положения и скорости во множестве приложений, предназначенных, в частности, для работы в жестких условиях эксплуатации. Однако применение в традиционных конструкциях индуктивных датчиков обмотки из медного провода делает устройства громоздкими и дорогостоящими. Компания Zettlex (Великобритания) предложила технологию индуктивных измерений, в которой реализован новый подход к созданию чувствительных элементов на основе отработанных методов изготовления печатных плат. Внедрение этой технологии позволило создать широкий спектр компактных и легких датчиков для различного применения. Основные принципы работы подобных устройств уже освещались в журнале "Электроника: НТБ"^{*}. Рассмотрим особенности реализации этой инновационной технологии в изделиях компании Zettlex.

ВРАЩАЮЩИЕСЯ ЭНКОДЕРЫ СЕМЕЙСТВА INCODER

Датчики IncOder компании Zettlex – это семейство бесконтактных высокоточных абсолютных угловых энкодеров в форме плоского кольца с большим диаметром полого вала, оборудованных интегрированной электроникой (рис.1).

Устройства состоят из изготовленных в виде печатных плат ротора (мишени) и статора (антенны), которые не связаны между собой механически и в которых не требуется передавать электронные сигналы по проводам между подвижной и неподвижной частями. Датчики IncOder работают по тому же принципу, что и резольверы, однако использование печатных плат вместо обмоток позволило добиться компактной конструкции, малого веса и низкого момента инерции.

В этих датчиках напряжение питания подается на неподвижный статор, тогда как ротор остается пассивным. В статоре интегрирована необходимая электроника для обработки сигналов и передачи данных по стандартным интерфейсам. Так как датчик абсолютный, на его выход поступает информация об абсолютном положении ротора относительно статора без необходимости поворота вала или возврата его в начальное положение.

Стандартная конструкция энкодеров линейки IncOder предусматривает установку печатных плат ротора и статора в прочные кожухи из алюминия, закрывающие внешнюю часть плат; наружная поверхность алюминия анодируется. Внутренние рабочие поверхности плат ротора и статора заливаются специальным составом, который обеспечивает их прочность и герметичность.

Отсутствие в энкодерах контактных, трущихся, хрупких или изнашивающихся частей, подшипников и уплотнений гарантирует длительный

^{*} Голощاپов А. Энкодеры и датчики Zettlex – новый подход к измерению скоростей вращения и определения положения. – Электроника: НТБ, 2014, № 4.



Рис.1. Датчики семейства IncOder

срок службы устройств без необходимости их обслуживания и ремонта.

Конструкции ротора и статора выполнены в виде двух внешне фактически одинаковых плоских колец с элементами крепления в профилях защитных алюминиевых кожухов. Поэтому ротор может быть смонтирован непосредственно на валу, а статор – на неподвижной части двигателя или редуктора, что обеспечит прямое измерение угла или скорости без необходимости применения различных муфт или редукторов между основным валом и энкодером (рис.2). Точной механической установки датчиков Zettlex не требуется.

Большой диаметр внутреннего полого вала позволяет легко провести через центр датчика крупные валы, токосъемники, гидравлические трубы, кабели и т.п.

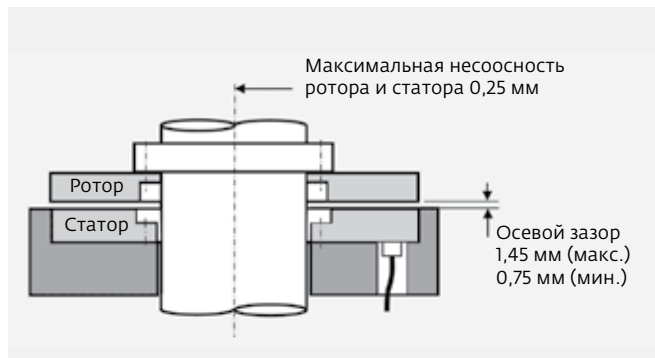


Рис.2. Пример крепления датчика IncOder к конструктивному узлу привода

Широкий набор выбираемых пользователем параметров дает возможность заказать датчик, в максимальной степени соответствующий всем требованиям. Доступные для выбора параметры устройств представлены в таблице 1, а на рисунке 3 показано, как формируется код заказа датчика семейства IncOder. При этом пользователь может сконфигурировать до 4 млн. различных вариантов.

Точность датчиков IncOder не зависит от влияния влаги, конденсата или пыли, поэтому изделия подходят для использования в жестких условиях окружающей среды, где электрические контактные устройства, оптические энкодеры или емкостные сенсоры могут оказаться ненадежными. Датчики IncOder выдерживают длительное погружение в соленую или пресную воду на глубину до 10 м. Кроме того, датчики IncOder не требуют заземления ротора и статора.

Таблица 1. Доступные варианты выбора параметров датчиков IncOder

Способ монтажа	семь способов монтажа
Габариты (внешний диаметр), мм	75, 100, 125, 150, 175, 200, 225 и 250
Разрешение, бит	10, 12, 14, 16, 18, 19, 20, 21 и 22
Разъемы	девять вариантов разъемов и подключений
Питание	5, 12 или 24 В постоянного тока
Интерфейсы передачи данных	SSI, ASI, SPI, цифровой (ASI, SSI, SPI) с напряжением 1 В sin/cos, аналоговый 0–10 В, квадратурные каналы A/B/Z
Дополнительные опции	высокие удары и вибрации свинцово-содержащий припой длительный прогон при испытаниях гравировка различные покрытия внешней поверхности

INC – X – XXX – XXXXXX – XXXX – XXXX – X – X

Способ монтажа

Крепление винтами к фланцам и ротора и статора **INC-3**

Крепление статора накладными зажимами, фиксация ротора стопорными винтами на валу **INC-4**

Крепление статора накладными зажимами, ротор плоский с фиксацией на торце вала **INC-6**





Крепление статора винтами к фланцу, фиксация ротора стопорными винтами на валу **INC-7**

Крепление статора винтами к фланцу, ротор плоский с фиксацией на торце вала **INC-8**

Крепление статора накладными зажимами, ротора – винтами к фланцу вала **INC-9**

Двойной статор и двойной ротор* **INC-10**

* Доступно для габаритов 150 мм и более

Питание

5 – 5 В

12 – 12 В

24 – 24 В

24СТ – 24 В, до -60°C

Корпусирование

AN Алюминиевый сплав с твердым анодированным покрытием

Разъем

AC1 – осевой разъем

RFC1 – радиальный гибкий вывод 100 мм, осевой разъем

RFC2 – радиальный гибкий вывод 12 мм, осевой разъем

RFC3 – радиальный гибкий вывод 100 мм, разъем повернут на 90°

RFC4 – радиальный гибкий вывод 12 мм, разъем повернут на 90°

RFC5 – радиальный гибкий вывод 100 мм, без разъема

RFC6 – радиальный гибкий вывод 12 мм, без разъема

AFL1 – встроенный осевой кабель

AFL2 – встроенный кабель, корпус герметизирован, IP67

Интерфейсы передачи данных

AS11 – асинхронный последовательный цифровой

SSI1 – синхронный последовательный цифровой тип 1

SSI2 – синхронный последовательный цифровой тип 2

SSI3 – синхронный последовательный цифровой тип 3

SSI4 – синхронный последовательный цифровой тип 4

SSI5 – синхронный последовательный цифровой тип 5

SSI6 – синхронный последовательный цифровой тип 6

SSI7 – синхронный последовательный цифровой тип 7

SSI8 – синхронный последовательный цифровой тип 8

SPI1 – последовательный периферийный интерфейс

AS11V – ASM + 1 В sin/cos ***

SSI1V – SSI1 + 1 В sin/cos

SSI2V – SSI2 + 1 В sin/cos

SSI3V – SSI3 + 1 В sin/cos

SSI4V – SSI4 + 1 В sin/cos

SSI5V – SSI5 + 1 В sin/cos

SSI6V – SSI6 + 1 В sin/cos

SSI7V – SSI7 + 1 В sin/cos

SSI8V – SSI8 + 1 В sin/cos

SPI1V – SPI1 + 1 В sin/cos

V0360 – 0-10 В 360° по ч.с. ****

V3601 – 0-10 В 360° против ч.с.

V0270 – 0-10 В 270° по ч.с.

V2701 – 0-10 В 270° против ч.с.

V0180 – 0-10 В 180° по ч.с.

V1801 – 0-10 В 180° против ч.с.

V0090 – 0-10 В 90° по ч.с.

V0901 – 0-10 В 90° против ч.с.

ABZ1 – RS422 с индексным импульсом 90° *****

ABZ2 – RS422 с индексным импульсом 180°

ABZ3 – Push-Pull (TTL) с индексным импульсом 90°

ABZ4 – Push-Pull (TTL) с индексным импульсом 180°

ABZ5 – Push-Pull (HTL) с индексным импульсом 90°

ABZ6 – Push-Pull (HTL) с индексным импульсом 180°

*** Все интерфейсы с 1 В sin/cos доступны только для габарита 125 мм, питания 12 В и разъема AC1

**** Интерфейсы 0-10 В имеют разрешение 14 бит, варианты питания: 12 В, 24 В или 24СТ В

***** Если выбирается интерфейс ABZ, максимально возможное разрешение -19 бит

Внешний диаметр

75 мм – **075**

100 мм – **100**

125 мм – **125**

150 мм – **150**

175 мм – **175**

200 мм – **200**

225 мм – **225**

250 мм – **250**

Разрешение

10 Бит – **100101** 19 Бит – **190101**

12 Бит – **120101** 20 Бит – **200101**

14 Бит – **140101** 21 Бит – **210101**

16 Бит – **160101** 22 Бит – **220101****

18 Бит – **180101**

** Доступно для габаритов 150 мм и более

Доработки *****

G – Ультравысокие вибрации и удары

E – Гравировка

P – Свинцовосодержащий припой

A – Покрытие поверхности Alochrom (не анодирован)

B – Длительный прогон при испытаниях

S – Покрытие поверхности Surtec650 (не анодирован)

***** Стандартно опции повышенной прочности не указываются. Не используйте их без особой необходимости. Можно выбрать одну или несколько опций с соответствующим увеличением стоимости. Из вариантов А и S может быть выбран только один, при этом параметр AN удаляется из кода заказа.
















Рис.3. Формирование кода заказа датчиков IncOder

На заказ доступны различные доработки энкодеров, например:

- изменение максимального внешнего диаметра (до 570 мм);
 - изменение способа монтажа и материала кожухов, включая нержавеющую сталь;
 - напряжения питания, не входящие в стандартные варианты;
 - выходной интерфейс, не предусмотренный в стандартных вариантах;
 - разрешение до 24 бит;
 - специализированные разъемы и кабели, герметизация для работ с погружением;
 - расширенный диапазон рабочих температур (до -60 °С);
 - снижение веса и момента инерции;
 - сертификация АТЕХ;
 - специализированные кожухи и корпусирование.
- Датчики IncOder предназначены для применения в следующих системах:

- вращающиеся сочленения и карданы подвесы;
- сервоприводы и двигатели;
- системы электронно-оптических и инфракрасных камер;
- гелиостаты и установки получения солнечной энергии;
- роботизированные манипуляторы и станки с ЧПУ;
- тестовое и калибровочное оборудование;
- системы вооружений малого и крупного калибра;
- системы наведения и дальномеры;
- системы ориентирования антенн и телескопов;
- автоматика для упаковки и испытаний;
- медицинские сканеры и хирургическое оборудование;
- краны и телескопические манипуляторы.

ДАТЧИКИ ЛИНЕЙНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ LINTRAN

Датчики семейства LinTran – это бесконтактные абсолютные индуктивные устройства, измеряющие линейное перемещение небольшой мишени относительно статора (антенны), длина которого зависит



Рис.4. Датчик семейства LinTran

от требуемого диапазона измерений (рис.4). Причем статор может быть как неподвижным, так и подвижным относительно мишени.

Особенности описанных выше датчиков IncOder, такие как отсутствие механически контактирующих частей, интегрированная в статор электроника, нечувствительность к влаге и пыли, характерны и для датчиков семейства LinTran.

Стандартная конструкция датчиков LinTran предусматривает установку печатных плат статора и мишени в герметичные корпуса с уровнем защиты IP67, что позволяет применять их в жестких условиях эксплуатации.

Такие датчики линейного перемещения не требуют прецизионной установки и программирования при помощи ПК.

В табл.2 представлены параметры датчиков LinTran.

В случае необходимости возможна поставка изготовленных на заказ датчиков LinTran с расширенным диапазоном рабочих температур, специализированными креплениями, улучшенной линейностью и т.д.

Основные приложения, в которых используются датчики LinTran:

- сервоприводы;
- двухкоординатные столы;
- линейные приводы;
- строительные и промышленные машины;
- робототехника.

Таблица 2. Варианты параметров датчиков LinTran

Диапазон измеряемых перемещений	200, 300, 400, 500, 600, 700, 800 мм
Выходной сигнал	4...20 мА или 0–10 В пост. тока
Питание	24 В пост. тока ±20%, >50 мА
Разрешение	0,025% от диапазона (12 бит)
Повторяемость	0,05% от диапазона (±1 LSB)
Линейность	±0,25% от диапазона

ОЕМ-ДАТЧИКИ

Помимо стандартных продуктов семейств IncOder и LinTran, компания Zettlex поставляет OEM-устройства, которые разрабатываются для применения в конкретных приложениях заказчиков. В таких устройствах наиболее полно проявляются возможности технологии Zettlex.

ОЕМ-датчики в бескорпусном исполнении предназначены для встраивания в сложные системы, объединяющие несколько устройств с различным функционалом, например, привод, включающий в себя двигатель с редуктором, энкодер и контроллер двигателя.

Поставляются OEM-датчики Zettlex в виде печатных плат мишеней и статоров. Все платы имеют защитное покрытие или герметизированы, поэтому на их работу не оказывают влияния жидкость, пыль, грязь, температура, удары, вибрация или электромагнитные шумы. Такие устройства изготавливаются с использованием печатных плат толщиной от 0,1 до 6 мм.

Конструкция позволяет легко разместить датчики в изделиях заказчика, например, в подвешенной камере, имеющей две степени свободы, роботизированном манипуляторе или в системе с кардановым подвесом, измерительном зонде, приводе или сенсоре износа. Для монтажа мишени и статора можно использовать различные способы в зависимости от конкретных условий, подойдут также адгезивные составы и нейлоновые винты.

Электроника обработки сигналов может устанавливаться на плате статора, при этом диапазон рабочих температур датчиков составит от -40 до 85°C .

Предусмотрена возможность вынесения электроники за пределы чувствительного элемента датчика, что позволяет расширить диапазон рабочих температур до $-70...200^{\circ}\text{C}$, так как электроника будет

работать в более благоприятных условиях окружающей среды.

Кроме того, стоит отметить возможность оперативных доработок OEM-датчиков с учетом требований заказчика по точности, скорости, размерам, электронным параметрам, диапазону температур и т.д., что позволяет добиться большей гибкости при проектировании изделий.

Примеры OEM-датчиков линейного перемещения

На рис. 5 показан бескорпусный OEM-датчик линейного перемещения с ходом мишени 15 мм для применения в сервоприводах. Основные параметры этого датчика: диапазон измерений 15 мм, разрешение ≤ 5 мкм, повторяемость $\leq \pm 5$ мкм, линейность $\leq \pm 0,25\%$ от диапазона.

Сверхлегкий бескорпусный OEM-датчик с ходом мишени 44 мм, оснащенный аналоговым или цифровым выходом, предназначен для работы в условиях высоких вибраций и больших механических зазоров (рис.6). Основные параметры: диапазон измерений 44 мм, разрешение 53,5 мкм, повторяемость $\leq \pm 53,5$ мкм, линейность $\leq \pm 1\%$ от диапазона (доступные на заказ значения линейности: 0,5%, 0,25%, 0,1%).

На рис.7 показан низкопрофильный, легкий, высокоточный OEM-датчик линейного перемещения с разрешением 14 бит и цифровым выходом SPI. Основные параметры этого датчика: диапазон измерений 258 мм, разрешение 0,016 мм (14 бит), повторяемость $\pm 0,032$ мм, линейность $\leq 0,10$ мм.

Примеры OEM-датчиков вращения

На рис.8 показан бескорпусный абсолютный OEM-датчик вращения с разрешением 14 бит (16384 отсчета на оборот) с цифровым выходом.

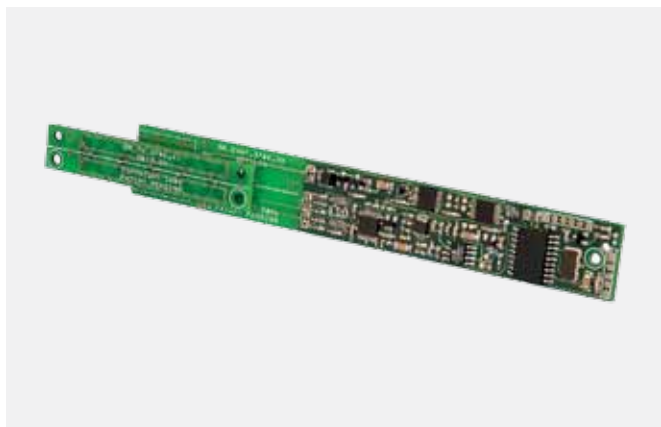


Рис.5. OEM-датчик линейного перемещения с ходом 15 мм

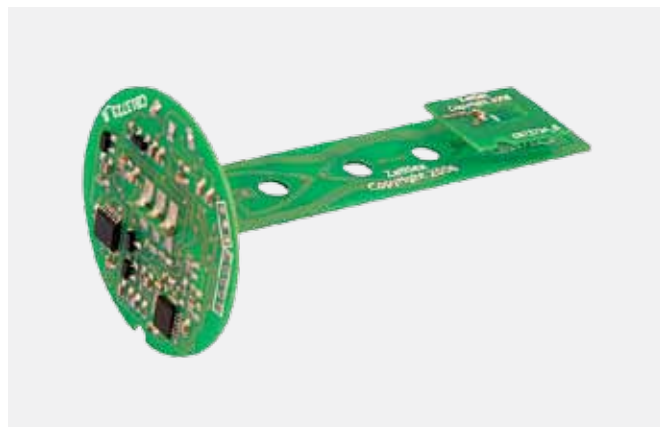


Рис.6. OEM-датчик линейного перемещения с ходом 44 мм

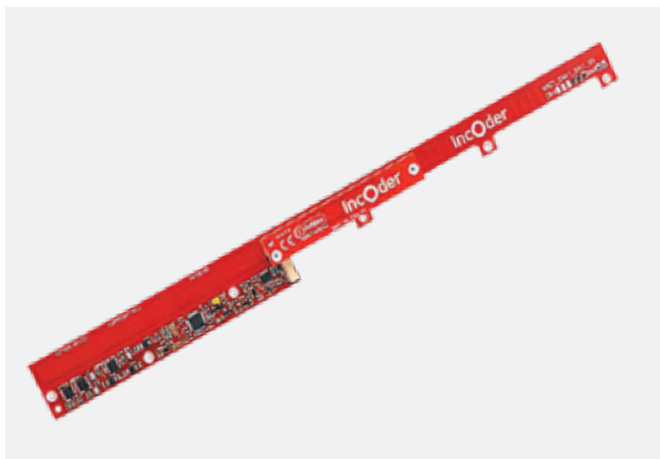


Рис.7. OEM-датчик линейного перемещения с ходом 258 мм

Основные параметры: диапазон 360°, разрешение 14 бит (16384 отсчетов на оборот или 0,022°), повторяемость ± 1 LSB, диапазон рабочих температур -45 до 85°С.

14-битные абсолютные датчики серии Tandem (рис.9) с полым валом, общим питанием и выходным интерфейсом идеально подходят для роботизированных манипуляторов, устройств подъема и перемещения, карданных подвесов, конструкций с двумя степенями свободы и т.д. Эти датчики нечувствительны к пыли, конденсату, посторонним объектам, их просто монтировать. Основные параметры: разрешение 14 бит, повторяемость ± 1 LSB.

В бескорпусном датчике вращения с аналоговым и дискретными выходами, показанном на рис.10, предусмотрено программирование функций посредством ПК. В устройстве реализованы



Рис.8. Датчик вращения с разрешением 16384 отсчета на оборот



Рис.9. OEM-датчик вращения серии Tandem

широкие возможности программирования, в том числе задание точек переключения, калибровочных кривых, данных производителя и т.д. Возможна герметизация датчика для работы в жестких условиях эксплуатации, а также установка непромокаемой мембраны между электроникой и подвижной мишенью. В этом легком, с низкой инерцией подвижных частей устройстве, не требующем прецизионной сборки, предусмотрено до трех дискретных выходов, рассчитанных на ток 4...20 мА. Питание 8...28 В.

Можно отметить следующие области применения OEM-датчиков вращения:

- сервоприводы и энкодеры двигателей;
- головки самонаведения ракет и легкие карданный подвесы;
- системы ориентирования антенн и вооружения;
- вращающиеся сочленения и подвесы;

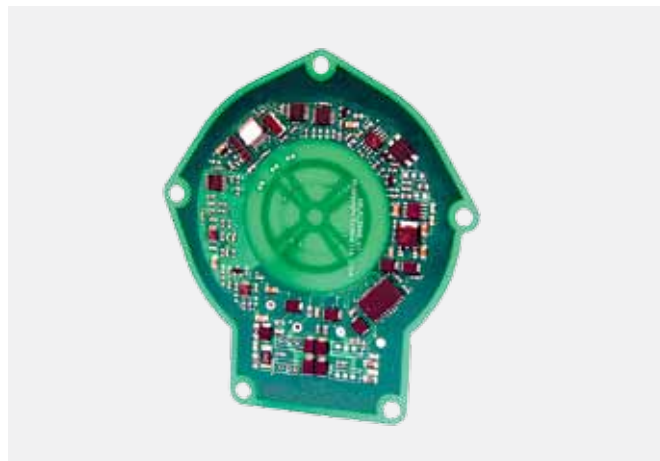


Рис.10. Программируемый OEM-датчик вращения



Рис.11. Искробезопасный энкодер

- электронно-оптические и инфракрасные камеры;
- роботизированные манипуляторы и станки с ЧПУ;
- тестовое и калибровочное оборудование;
- системы вооружений мелкого и крупного калибра;
- системы наведения и дальномеры;
- упаковочные линии и автоматизация лабораторий;
- медицинские сканеры и хирургическое оборудование;
- краны и телескопические манипуляторы.

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ДАТЧИКИ

При наличии у заказчиков специфических требований, которые достаточно сложно выполнить путем доработки стандартных или OEM-изделий, компания Zettlex предлагает проектирование

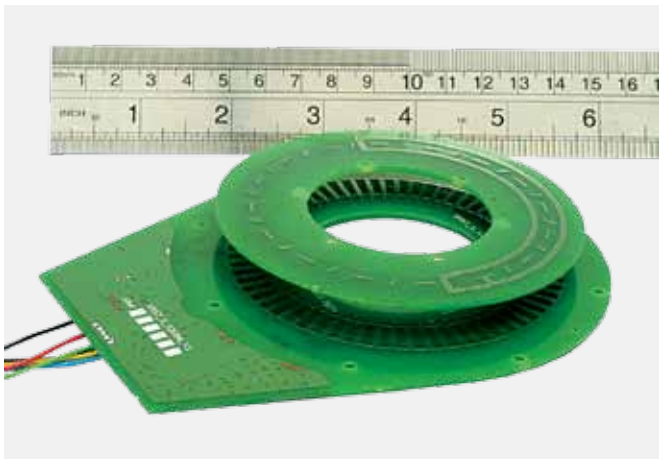


Рис.12. Энкодер измерения азимута

специализированных датчиков на заказ. Примеры подобных устройств демонстрируют широкие возможности технологии Zettlex по созданию нестандартных решений.

Искробезопасный энкодер вращения

На рисунке 11 представлен бесконтактный энкодер, измеряющий положение привода клапана с ходом 90° для нефтехимической промышленности. Датчик, сертифицированный по АТЕХ на искробезопасность для работы в потенциально взрывоопасных средах, полностью герметизирован (IP68), прост в установке, диапазон измерений превышает 1 тыс. отсчетов. Установка нижнего (0%) и верхнего (100%) пределов диапазона измерений производится путем нажатия кнопок на датчике. Настраиваемый диапазон измерений – от 10° до 100°.

Энкодер азимутального угла

Легкий бескорпусный абсолютный угловой энкодер предназначен для измерения азимута в авиационных подвесах (рис.12). Этот низкопрофильный энкодер с высоким разрешением и низкой инерцией ротора не содержит подшипников, имеет небольшой вес и разработан для простой установки на вращающееся контактное устройство (ВКУ). Основные параметры: непрерывный диапазон измерений 360°, разрешение 16 бит (16 384 отсчетов на оборот), повторяемость 1 бит.

Авиационный энкодер управления плоскостями

Компактный абсолютный энкодер вращения (рис.13) с цифровым выходом предназначен для



Рис.13. Авиационный энкодер

применения в основных и резервных системах управления в авиакосмических приложениях. Ключевые параметры: двухосевая система, разрешение 14 бит, повторяемость ± 1 LSB, линейность $< 0,05\%$.

Программируемый датчик вращения

Компактный бескорпусный бесконтактный датчик вращения (рис.14) с аналоговым выходом 4...20 мА и двумя дискретными выходами, разработанный для стрелочных приборов измерения давления или температуры, подходит для взрывоопасных сред. В состав устройства входит легкий ротор с малым моментом инерции. Возможно программирование нуля, диапазона измерений и состояния дискретных выходов датчика с ПК. Основные параметры: высота 50 мм, линейность $< 0,5\%$. Дискретные выходы датчика – это выходы с открытым коллектором, рассчитанные на напряжение 28 В и ток 50 мА.

Датчик потока

Бесконтактный датчик с аналоговым выходом, рассчитанным на ток 4...20 мА, можно запрограммировать с ПК для реализации функций нелинейных измерений (рис.15). Устройство,



Рис.14. Программируемый энкодер для стрелочных приборов

разработанное для измерения скорости потока жидкости, искробезопасно, его можно применять в потенциально взрывоопасных средах. Особенности датчика: легкий ротор, устойчивость к жестким условиям, задание зависимости угла поворота от потока с помощью ПК. Основные параметры: диапазон измерений до 100° , разрешение 12 бит.



Рис.15. Программируемый датчик потока

Вращающийся энкодер-тандем для оптических систем

Бесконтактный бескорпусный датчик вращения с высоким разрешением оснащен легким ротором с малой инерцией (рис.16), последовательным выходным интерфейсом. Основные параметры: разрешение 14 бит, диаметр 50 мм, стальной полый вал диаметром 10 мм.

Датчик линейного положения для микшерного пульта

На рис.17 показан бесконтактный датчик линейного положения с абсолютным цифровым выходом для аудио- и видеомикшерных пультов. Основные параметры: ход 100 мм, линейность <math><0,1\%</math>, разрешение 10 бит. Имеется аналоговый или цифровой выход.



Рис.16. Энкодер для оптических систем

Датчик угла для нефтехимической отрасли

В искробезопасном угловом энкодере, предназначенном для работы в потенциально взрывоопасных средах, применена двухосевая система (рис.18). Положения дискретных выходов программируются кнопками. Устройство обеспечивает высокую точность, разрешение и линейность. Основные параметры: разрешение 14 бит, повторяемость ± 1 LSB, линейность $<0,05\%$.

ПРЕИМУЩЕСТВА ДАТЧИКОВ ZETTLEX

Помимо того, что датчики Zettlex компактные, легкие, обладают высокой точностью и надежностью, передают данные измерений по современным протоколам и не требуют обслуживания, они отличаются рядом дополнительных преимуществ.

Устройства обеспечивают большую гибкость для разработчика, их легко адаптировать к конкретным требованиям приложения. На стадии разработки можно отказаться от применения валов, подшипников, герметизации, сочленений (муфт) и корпусирования, что в дальнейшем будет способствовать уменьшению веса, занимаемого пространства и снижению стоимости решения. Современные датчики устойчивы к электромагнитному шуму, оснащены интегрированной электроникой, которая обеспечивает питание, обработку сигналов и выдачу данных по стандартным интерфейсам, как в аналоговом (0-5 В, 0-10 В и 4-20 мА), так и в цифровом (SSI, SPI и др.) форматах.

Использование технологии печати проводящих дорожек на гибких основаниях гарантирует следующие преимущества:

- изделию можно придать любую необходимую форму – от тонких вращающихся до протяженных

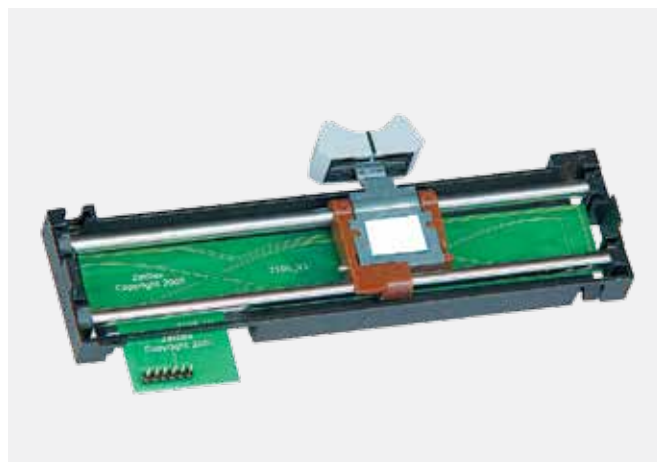


Рис.17. Линейный датчик для пультов



Рис.18. Программируемый энкодер для нефтехимической отрасли

линейных устройств, причем как двух-, так и трехмерных;

- гибкость и совместимость – вплоть до толщины 0,1 мм;
- широкий выбор диапазонов измерений – от микрометров до метров;
- параметры измерений улучшаются благодаря отсутствию неточностей в процессе изготовления обмоток;

- высокие разрешение и стабильность (например, 24 бита для датчика диаметром 50 мм);
- сложные варианты геометрии измерений, например, крен, тангаж и рысканье;
- несколько чувствительных элементов можно разместить в одном объеме, для этого используются многослойные печатные платы (например, возможно резервирование (дублирование) датчиков в приложениях, критичных по безопасности);
- сертификацию на искробезопасность (по АТЕХ) легко обеспечить путем заливки всей электроники эпоксидными составами.

Перечисленные преимущества обуславливают широкие возможности применения изготовленных на заказ и OEM-датчиков Zettlex в промышленных, оборонных, медицинских, авиакосмических, нефтехимических и нефтегазовых приложениях.

Датчики Zettlex – это экономичная, легкая и надежная альтернатива не только классическим индуктивным датчикам, но и потенциометрам, оптическим энкодерам, энкодерам вращения, резольверам, синусно-косинусным вращающимся трансформаторам (СКВТ), измерительным преобразователям линейных перемещений, магнитным датчикам и емкостным энкодерам. ●