

- компактное размещение на DIN-рейке.

При выборе того или иного варианта организации оптоволоконных каналов связи по экономическим соображениям можно дать следующие рекомендации:

- при длине оптических линий, позволяющей использовать многомодовое волокно, выбор однозначно будет за TCF-142, которые в многомодовой модификации значительно дешевле аналогов серии NPort IA;

- если необходимо использовать одномодовое волокно, то предпочтение следует отдать изделиям се-

*Головнев Константин Павлович – инженер ООО "Ниеншанц-Автоматика".  
Контактные телефоны: (812) 326-59-24, (495) 980-64-04. [Http://www.moxa.ru](http://www.moxa.ru)*

## ТРИАНГУЛЯЦИОННЫЕ ДАТЧИКИ РАССТОЯНИЯ

О.Н. Лысенко (ООО "ЗИК")

*Представлен сравнительный обзор существующих на рынке датчиков расстояния, которые применяются для самых различных задач автоматизации. Более подробно описаны триангуляционные датчики расстояния, предназначенные для измерения дистанции с микронной точностью. Данные датчики широко используются в металлургии, автомобилестроении и упаковочной промышленности.*

### Введение

Самые первые бесконтактные датчики расстояния выдавали информацию только лишь о наличии или отсутствии предмета перед датчиком в виде дискретного сигнала ON/OFF. Эти простейшие датчики до сих пор находят огромное применение в различных областях промышленности. В то же время для решения более сложных задач автоматизации ТП инженерам нужна дополнительная информация о положении объектов измерения. Для этих целей были разработаны датчики, позволяющие определять расстояние до объекта и его положение с помощью аналогового выхода, сигнал на котором пропорционален расстоянию до измеряемого объекта. Такие датчики используются для решения самых разных задач: измерение уровня, контроль профиля, измерение толщины листа и др.

### Выбор датчика расстояния

Начать подбор оптимального датчика расстояния необходимо с определения характеристик объекта измерения (рабочей дистанции до объекта измерений; структуры объекта измерения, его цвета и размера; скорости движения объекта) и общих требований, предъявляемых к датчику (требуемой точности и повторяемости измерений; необходимого типа выходного сигнала; внешние условия работы и монтажа датчика).

### Сравнительный обзор датчиков расстояния

Датчики для измерения расстояния могут использовать различные принципы измерений: индуктивный, ультразвуковой или оптический, однако все они имеют электрический выходной сигнал, величина которого пропорциональна расстоянию до измеряемого объекта. В табл. 1 представлены основные типы аналоговых бесконтактных датчиков для измерения расстояний и их основные особенности.

*Индуктивные датчики* определяют расстояния до проводящих металлических объектов, таких как сталь, алю-

миний, латунь. Датчики, работая по принципу токов взаимной индукции, могут работать в самых тяжелых условиях. Достоинствами данного типа датчика является высокая точность и возможность применения для большинства высокоскоростных задач. Но, несмотря на прекрасную точность, разрешение и время отклика, датчик имеет существенную нелинейность. Для компенсации этой нелинейности требуется использование контроллера.

*Ультразвуковые датчики.* Принцип их действия основан на излучении импульсов ультразвука и измерении времени, за которое звуковой импульс достигнет объекта измерения и, отразившись от него, вернется обратно в датчик.

Наиболее важными особенностями применений ультразвуковых датчиков служит их возможность измерять расстояния до сложных объектов (например, сыпучие вещества, жидкости, гранулы, прозрачные или напротив сильно отражающие поверхности), а также сравнительно большие расстояния, при этом сохраняя их небольшие размеры.

Однако ультразвуковые датчики имеют ряд ограничений. Прежде всего, это пена и другие объекты, сильно поглощающие ультразвуковые колебания и уменьшающие тем самым измеряемую дистанцию. Сильно изогнутые поверхности также снижают расстояние и

ри NPort IA, тем более, что они допускают вдвое большую протяженность оптической линии;

- может оказаться и так, что на окончательный выбор решающее значение окажут технические особенности устройств, такие как возможность построения кольцевой топологии и простота настройки для TCF-142 или сигнализация об обрыве и изоляция последовательного порта для NPort IA5150.

Для упрощения выбора приводится сравнительная таблица основных параметров устройств.

Для упрощения выбора приводится сравнительная таблица основных параметров устройств.

Однако ультразвуковые датчики имеют ряд ограничений. Прежде всего, это пена и другие объекты, сильно поглощающие ультразвуковые колебания и уменьшающие тем самым измеряемую дистанцию. Сильно изогнутые поверхности также снижают расстояние и

Однако ультразвуковые датчики имеют ряд ограничений. Прежде всего, это пена и другие объекты, сильно поглощающие ультразвуковые колебания и уменьшающие тем самым измеряемую дистанцию. Сильно изогнутые поверхности также снижают расстояние и

Таблица 1. Сравнительный анализ различных датчиков расстояния

| Характеристики |  |  |  |                |
|----------------|--|---|---|----------------|
|                | Индуктивные  | Ультразвуковые  | Триангуляционные  | Радарные       |
| Расстояние     | 0...20 мм  | 10 мм...10 м  | 10... 1,000 мм  | 10 мм...1,1 км |
| Разрешение     | 0,1 мкм  | 0,1 мм  | 1 мкм   | 0,5 мм         |
| Точность       | 1 мкм  | 2%  | 2мкм  | 2 мм           |
| Линейность     | 0,4...5%   | 0,5%  | 0,05...1%   | 0,001%         |
| Время, мс      | 0,3  | 20  | 1   | 1              |

Таблица 2. Триангуляционные датчики расстояния

| Технические параметры                 | OD                                       | OD HI   | OD max                           | OD max transparent |
|---------------------------------------|--|---|----------------------------------|--------------------|
|                                       | Габаритные размеры, мм                   | 24x60x50  |                                  | 25,5x78x76,5       |
| Материал корпуса                      | пластик/металл                           |   | металл                           |                    |
| Напряжение питания, =В                | 12..24                                   | 12..24  | 12..24                           | -                  |
| Класс защиты                          | IP 67                                    |   |                                  |                    |
| Диапазон рабочих температур, °С       | -10...40                                 |   | -10...45                         |                    |
| Стандарты соответствия                | СЕ, ГОСТ-Р                               |   |                                  |                    |
| Диапазон измерений, мм                | 30 ± 4;<br>100±35;<br>130±50;<br>250±150 | 30 ± 4;<br>50 ±10;<br>80 ± 15;<br>100 ± 40;<br>250 ±150 | 30 ± 5;<br>85 ± 20;<br>100 ± 100 | 25 ± 1             |
| Точность                              | ± 2...3% от измеряемого диапазона        | ± 1% от измеряемого диапазона                           | ± 10;<br>± 40;<br>± 200 мкм      | ± 2 мкм            |
| Разрешение, мкм                       | 1; 5; 20; 150                            | 1; 2; 8; 10   | 1; 5; 50                         | 0,1                |
| Переключающие выходы                  | 1 x PNP                                  |   | 5 x PNP/NPN                      |                    |
| Частота срабатывания                  | 5/с                                      | 5/с   | 0,5 мс                           | 10 кГц             |
| Аналоговый выходной сигнал            | 4...20 мА, программ                      |   | 4...20 мА/±5 В                   |                    |
| Параметры выходного сигнала, мкс      | 280                                      |   | -                                |                    |
| Последовательный интерфейс            | Profibus-DP, RS-232                      |   | RS-232C                          |                    |
| Скорость передачи данных, макс., МБод | 1,5                                      |   | -                                |                    |
| Входы                                 | teach-in, блокирующий вход               |   |                                  |                    |
| Источник излучения                    | расный светодиод/лазерный диод, класс 2  |   |                                  |                    |
| Подключение                           | кабель, разъем                           |   | терминал                         |                    |

точность измерений, поскольку рассеивают ультразвуковые колебания в различных направлениях.

**Оптические датчики расстояния.** В настоящее время среди оптических датчиков расстояния можно выделить лазерные интерферометры, сенсоры с рассеянным отражением света, оптические датчики радарного и триангуляционного типов. Каждый из них имеет свою область применения. Лазерные интерферометры имеют большой диапазон измерений и точность в несколько нанометров, однако эти приборы очень дорогие и сложные в эксплуатации. Датчики с рассеянным отражением и аналоговым выходом могут измерять расстояния в широких пределах, но поскольку они работают с отраженным светом, то возможны проблемы с измерением расстояний до окрашенных или отражающих объектов. Оптические датчики радарного типа,

преимущественно лазерные, могут измерять большие расстояния, однако принцип их работы, основанный на измерении времени распространения света от датчика до объекта и обратно, позволяет измерять с ограниченным разрешением в 2...3 мм. Триангуляционные датчики имеют рабочий диапазон от долей микрон до нескольких десятков метров. Они работают с объектами малого размера, имеющие различный цвет и перемещающиеся с высокой скоростью (табл. 1).

**Датчики расстояния на сверхмалый диапазон**

Остановимся подробнее на рассмотрении триангуляционных датчиков расстояния для сверхмалого диапазона работы. Подобные изделия выпускают ряд фирм, из которых следует отметить, прежде всего, японские компании. Отличительными характеристиками продукции компании SICK AG по сравнению с подобными изделиями других фирм являются:

- особенность конструкции: большинство продуктов компании представляют собой датчик с интегрированным контроллером, тогда как стандартно подобные изделия состоят из отдельных частей – измерительной головки и контроллера;
- малый размер оптического пятна, что позволяет детектировать миниатюрные объекты;
- возможность настройки дистанции с помощью механизма Teach-in (автоматическая настройка нажатием соответствующей кнопки). Обычно для этого используется ручная настройка потенциометром.

Ассортимент выпускаемых датчиков расстояния представлен в табл. 2.

Версия OD Max transparent представляет собой дальнейшее развитие серии OD MAX и предназначена для измерения расстояния до прозрачных объектов (прозрачная пленка, стекло и т.п.).

На рис. 1 представлен сравнительный график серий на основе соотношения цена/технические характеристики.

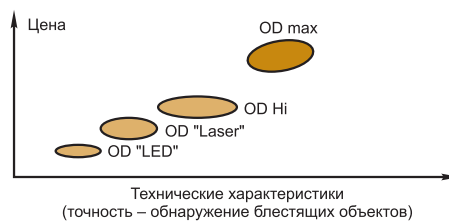


Рис. 1. Триангуляционные датчики расстояния



Рис. 2. Датчик расстояния OD\_MAX

**Датчик расстояния OD Max**

Рассмотрим датчик расстояния OD Max (рис. 2), выпущенный в начале 2005 г., позиционируемый как топовое решение, обладающее одними из лучших среди подобных изделий техническими характеристиками (табл. 2).

Отличительными особенностями серии OD Max являются:

- возможность подсоединения к усилителю до двух измерительных головок;
- наличие пяти пороговых выходов, четырех аналоговых выходов (один по напряжению и один по току для каждой измерительной головки);

- широкий набор встроенных в усилитель управляющих и математических функций (восемь математических функций, три задержки, шесть синхронизаций, два фильтра);

- измерительная головка, предназначенная для работы в сложных условиях (освещенность макс. 3,000 люкс; рабочий диапазон температур -10...45°C; степень защиты IP67; устойчивость к вибрации 10...55 Гц; устойчивость к ударам 50 G);

- усилитель, предназначенный для работы в сухих и чистых помещениях (рабочий диапазон температур -10... 45°C; степень защиты IP20; устойчивость к вибрации 10 ... 55 Гц; устойчивость к ударам 20 G).

**Принцип работы.** Лазер посылает через линзу луч, который отражается от объекта и фокусируется на линейке из фотодиодов, которая преобразует световой сигнал в электрический (рис. 3). Всякое изменение расстояния до объекта вызывает изменение угла отраженного луча и, следовательно, позиции, которую отраженный луч занимает на линейке фотодиодов. Микроконтроллер обрабатывает сигнал от линейки фотодиодов и преобразует его в аналоговый электрический сигнал.

В настоящее время используются три технологии, по которым изготавливаются фотоприемники датчиков: CCD, CMOS и PSD.

Датчик OD Max, в отличие от серии OD, выполнен по CMOS технологии, что помогло добиться измерения дистанций с микронной точностью. Принимающий элемент, изготовленный по данной технологии, является основой изделия. Он включает набор принимающих фотодиодов, усилителей и ключей, разделенных на ряд зон.

Значительным преимуществом CMOS, по сравнению с технологией CCD, является отсутствие эффекта размывания (блюминга) пикселей, которое свойственно CCD и отражается на более низкой точности измерений.

Сравнение технологий CMOS и PSD (серия OD) показано на рис. 4. Основными преимуществами используемой технологии CMOS является: высокая точность измерений (отсутствие эффекта размывания); низкое потребление; низкий нагрев датчика; небольшие размеры.

Датчик OD Max состоит из двух отдельных частей: измерительной головки и усилителя. На датчике имеется два сигнальных светодиода: сила сигнала и индикатор дистанции. Рассмотрим для примера датчик на дистанцию  $30 \pm 5$  мм. При расположении датчика от объекта измерения на расстоянии 30 мм светодиод светит оранжевым светом, что свидетельствует о правильном расположении датчика относительно объекта, если расстояние меньше, то светодиод – красный, если больше – зеленый. Светодиод силы сигнала (зеленый) сигнализирует о достаточном уровне отраженного от объекта сигнала и соответственно о правильной ориентации датчика относительно объекта.

Усилитель представляет собой блок, крепящийся на DIN-рейке. Он позволяет подсоединять до двух датчиков одновременно, что особенно актуально для

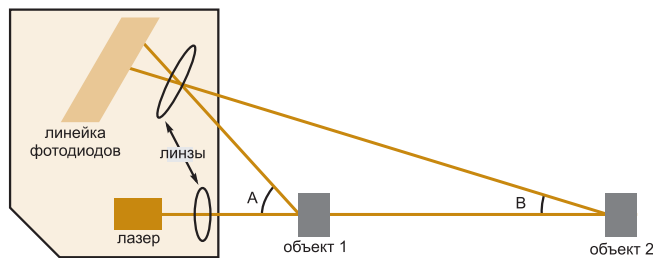


Рис. 3. Принцип работы датчика расстояния

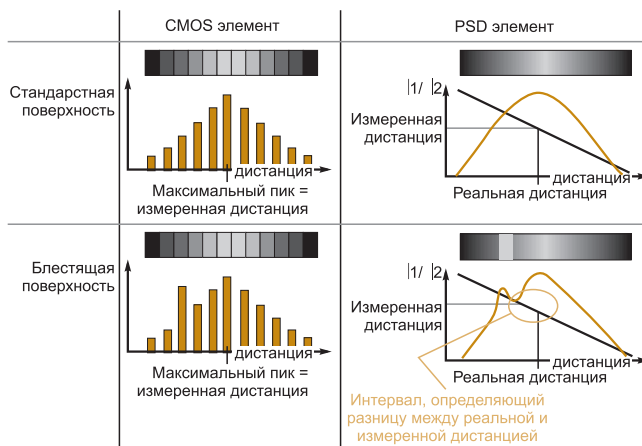


Рис. 4. Сравнение технологии CMOS и PSD

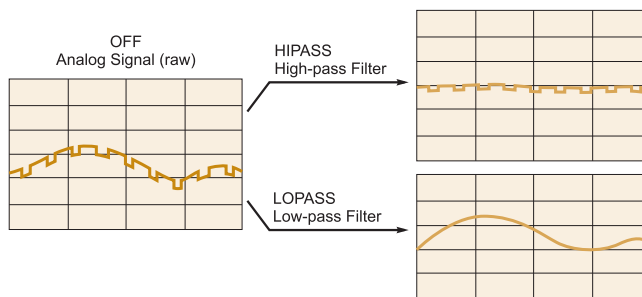


Рис. 5. Результат работы НЧ и ВЧ фильтра

задачи измерения толщины различных материалов. Также на этом блоке имеются две съемные панели выводов, к которым подводится питание датчиков и снимаются сигналы (пороговые, аналоговые, alarm).

На передней панели имеется жидкокристаллический дисплей и блок управления с набором клавиш:

- RIGHT/LEFT – выбор функции или параметра датчика;
- UP/DOWN – изменение значения параметра;
- SET/RUN – установка режима дисплея, вход в меню;
- BANK – выбор и загрузка настроенных под определенную задачу параметров датчика. Оператор может запомнить до восьми подобных профилей;
- 1-2-3 изменение положения курсора между цифрами настраиваемого параметра;
- LOCK – блокирование управляющих клавиш. Повторное нажатие отменяет эту операцию;
- ZERO A, ZERO B – сбрасывание параметров датчиков в стандартные значения.

В усилитель встроено множество самых различных функций, которые позволяют настроить датчик для решения самых сложных задач:

1. FILTER — установка среднего периода измерений. Более высокое значение позволяет игнорировать внезапные изменения положения объекта, а более низкое — позволяет получить меньшее время отклика. Кроме этого имеется возможность установить низкочастотный или высокочастотный фильтр, а также предельную частоту фильтра. Принцип работы фильтров показан на рис. 5;

2. CALCUL.1 — позволяет выполнять ряд арифметических операций со значениями дистанций от измерительных головок (А и В). В частности А, В, А+А, А-В, -А-В, К-А-В, К+А+В, К+А-В, К+А, К+В, где К — настраиваемая оператором константа. Например, для измерения толщины (рис.6) необходимо задать К-А-В, где К — расстояние между датчиками;

3. CALCUL.2 — позволяет установить начало отсчета и направление шкалы измерения;

4. HOLD — ряд специфических операций, например, сохранение максимального, минимального значения дистанции и т.п.;

5. CONTROL 1, 2, 3 — настройка параметров пяти пороговых выходов;

6. ANALOG 1, 2 — настройка параметров аналоговых выходов;

7. SENSITI. — настройка чувствительности датчика;

8. TIMER — настройка задержек для выходов датчика;

9. MEMORY — возможность сохранения параметров датчика в отдельный банк памяти.

Описанные приборы находят самое широкое применение в электронной, полупроводниковой и упаковочной промышленности, в автомобилестроении и шинной отрасли, при сборке и на роботизированных операциях.

Наиболее интересными для рассмотрения являются автомобильная и упаковочная промышленность.

В автомобильной промышленности датчики серии OD применяются на этапах:

- полировки распределительного вала (контролирует размеры последнего во время его изготовления. Мониторинг в масштабе РВ гарантирует полирование с высокой точностью и меньшим процентом брака), а также контроля и мониторинга размеров распределительного вала. В настоящее время более распространено ручное тестирование готового изделия, но очень перспективной является автоматизация этой операции;

- сборки двигателя (измеряются размеры и положение поддона картера), чтобы избежать утечки масла во время дальнейшей эксплуатации;

- штамповки деталей (гарантирует отсутствие деформаций после операций штамповки и гибки);

- сборки мотора двигателя — контролирует высоту ротора и обнаруживает слои с деформациями (ротор и статор мотора и генератора состоят из ряда стальных листов для обеспечения требуемых магнитных свойств); тестирует поверхность для обнаружения различных дефектов;

- изготовления листового материала для обнаружения дефектов и контроля его толщины, а также тестирования и контроля операции шпаклевки и покраски;

- сборки кузова — перед установкой переднего стекла автомобиля измеряется положение и перекашивание кузова, чтобы скорректировать данные управляющей программы сборочного робота. Также датчики данной серии используются для контроля правильности сварки и склеивания различных деталей кузова;

- изготовления подшипников качения для контроля наличия и количества смазки;

- калибровки роботов после каждого рабочего цикла для улучшения точности и повторяемости движений конечной точки робота (положение оси шарнира измеряется в координатах X-Y-Z).

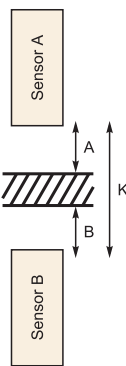


Рис. 6. Измерение толщины

#### Печатные и упаковочные машины

При производстве картона датчики OD измеряют разницу между впадинами и вершинами бумаги, чтобы гарантировать отсутствия смятия готового изделия. Два датчика OD тах измеряют толщину и косвенно ширину прозрачной пленки или другого материала при их изготовлении. Вибрации материала не влияют на измерения, благодаря расположению датчиков друг напротив друга. Чтобы обеспечить максимальную точность измерений рекомендуется устанавливать датчики как можно ближе к роликам.

Присутствие крышек на бутылках, а также не полностью закрученные крышки обнаруживаются с помощью датчика расстояния OD на упаковочной машине. Это же приложение может быть реализовано с помощью фотоэлектрического датчика с отражением от объекта, имеющего разрешение меньше, чем 0,1мм.

Рассмотренные датчики используются для предотвращения попадания в печатающие и упаковочные машины двойных листов картона или других материалов (на результаты измерения не влияют цвет конвейера и материала). Два датчика расстояния используются для подсчета журналов, выходящих из печатной машины. Датчики определяют разницу в высоте, что позволяет подсчитывать даже очень тонкие журналы и проспекты.

*Лысенко Олег Николаевич — канд. техн. наук, инженер по продажам ООО "ЗИК".*

*E-mail: oleg.lysenko@sick-automation.ru*

*Http://www.sick-automation.ru, www.sick.com*