



Виктор Жданкин

## Поворотные шифраторы фирмы Pepperl+Fuchs

В статье представлены номенклатура и технические данные поворотных шифраторов приращения и абсолютных поворотных шифраторов фирмы Pepperl+Fuchs GmbH (Германия), приведены некоторые сведения о конструкции этих изделий, описаны примеры применений шифраторов в системах автоматизации производственных процессов.

Промышленные сети Fieldbus занимают в настоящее время всё более прочное положение в сфере автоматизации технологических процессов, создавая условия для применения на нижнем уровне управления интеллектуальных датчиков, связанных с контроллерами через цифровую шину и обладающих такими новыми функциями, как автоматическая калибровка, самотестирование, загрузка в память значений параметров, конфигурирование, диагностика в реальном времени, мониторинг сети и т.д.

Поворотные шифраторы, фактически являясь датчиками перемещения, широко используются в различных средствах механизации, промышленной робототехнике, конвейерных системах, средствах управления исполнительными устройствами и т.п. Фирмы-производители поворотных шифраторов, следуя тенденциям развития систем автоматизации, предлагают широкую номенклатуру изделий для разных промышленных сетей и протоколов связи.

### РАЗНООБРАЗИЕ КОММУНИКАЦИОННЫХ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ШИФРАТОРОВ

Компания Pepperl+Fuchs, основанная в 1945 году, является известным

производителем общепромышленных датчиков, использующих различные физические принципы, и средств сопряжения во взрывобезопасном исполнении [1].

Приобретение в 1996 году фирмы Hohner Elektrotechnik GmbH, разработчика и производителя шифраторов, позволило компании Pepperl+Fuchs расширить номенклатуру выпускаемой продукции и предложить потребителям расширенный ряд поворотных шифраторов приращений и абсолютных шифраторов в различных исполнениях: со сплошным или полым валом, различными видами выходов, последовательным или параллельным выводом информации. Кроме того, модели одно- и многооборотных абсолютных шифраторов, разработанные в последнее время, можно подключать к современным промышленным сетям Profibus-DP, Interbus, CANopen, DeviceNet, к AS-интерфейсу, а также организовывать последовательную передачу данных совместно с тактовыми сигналами через специализированный интерфейс SSI (Synchron Serial Interface).

Применение стандартных промышленных сетей не только снижает расходы на кабельную проводку, но и обеспечивает множество интересных функциональных возможностей. В частности, кодирующие устройства угловых

перемещений посредством соответствующего программного обеспечения могут быть сконфигурированы через сеть и способны реализовать такие дополнительные интеллектуальные возможности, как самокалибровка, компенсация, самодиагностика, что, например, для сложного машинного оборудования существенно упрощает ввод в эксплуатацию и саму эксплуатацию.

Далее приведены данные по абсолютным шифраторам, предназначенным для подключения к популярным промышленным сетям, а также по шифраторам приращений.

### Абсолютные шифраторы

В настоящее время номенклатура шифраторов фирмы Pepperl+Fuchs GmbH включает абсолютные преобразователи угловых перемещений с различными техническими характеристиками. Изготавливаются однооборотные и многооборотные преобразователи. Однооборотные преобразователи обеспечивают за один оборот до 8192 изменений (разрешающая способность до 13 бит). Многооборотные преобразователи дополнительно к информации о перемещении накапливают информацию о количестве оборотов, тем самым существенно расширяя возможную область применения данного типа датчиков. При помощи этих преобразовате-

лей можно зарегистрировать до 4096 оборотов и добиться общей разрешающей способности до 25 бит.

В случаях, когда измерительные системы должны предоставлять точную информацию об угловых положениях, предпочтительным является применение именно абсолютных поворотных шифраторов. Исключительным свойством этих датчиков является то, что сигнал доступен непосредственно после включения устройства. Отключение электропитания или другие аварии не приводят к потере информации о положении контролируемого объекта и соответственно не требуют возврата объекта к исходной точке перемещения.

Подробные спецификации абсолютных шифраторов с последовательным выводом информации представлены в таблице 1.

#### **Абсолютные шифраторы серий BVE 10/BVM 10 с AS-интерфейсом**

В современных производственных установках и на предприятиях дискретные датчики и исполнительные механизмы часто соединяются посредством AS-интерфейса. Теперь такая возможность появилась и для аналоговых датчиков.

Решения на базе абсолютных шифраторов BVE 10/BVM 10 с AS-интерфейсом соответствуют требованиям многих применений, требующих работы в реальном масштабе времени и предполагающих большое число ведомых устройств. Код координаты положения (до 16 бит) передаётся в пределах одного цикла посредством четырёх встроенных микросхем AS-интерфейса, применяющихся также для задач управления.

- Разрешение:
  - 13 бит для шифраторов в однооборотном исполнении,
  - 16 бит для шифраторов в многооборотном исполнении.
- Двоичный код или код Грея.
- Возможность выбора параметров кода, LATCH — фиксирование данных, PRESET1 — режим предустановки 1 (значение угла положения 0°), PRESET2 — режим предустановки 2 (значение угла положения 90°).
- Передача с битом подтверждения или без него.

#### **Абсолютные шифраторы серий IVE 10/IVM 10 для сети Interbus**

Шифраторы этих серий поддерживают все функции ENCOM profile Class 1, Class 2 и Class 3. Наборы функций (profile) категорий Class 1 (16 бит) и Class 2

(32 бит) обеспечивают только обработку данных, а совокупность функций категории Class 3 предполагает передачу 25 бит обработанных данных и 7 бит управления/статуса, которые могут быть использованы, например, для параметрирования.

- IVE 10: разрешение 13 бит для однооборотного исполнения.
- IVM 10: разрешение 25 бит для многооборотного исполнения.
- ENCOM profile Class 1, Class 2 и Class 3.
- 4 диагностических светодиода.

Как известно, в последнее время всё шире применяются волоконно-оптические линии связи (ВОЛС). В этом случае достигается высокая скорость передачи данных при одновременной невосприимчивости к воздействию электромагнитных помех. Изделия Pepperl+Fuchs серии IVM 10 сочетают эти преимущества с производительностью системы Interbus [2].

Современные интерфейсные решения позволяют получать скорость передачи данных 2 Мбод вместо прежней 0,5 Мбод. Специально для подключения ВОЛС в интерфейс интегрирована возможность регулирования оптической мощности. Изменения параметров принимающих и передающих диодов могут быть компенсированы, так же как и потери на граничных поверхностях светового проводника.

#### **Абсолютные шифраторы серий PVE 10/PVM 10 для сети Profibus-DP**

Шифраторы в однооборотном исполнении серии PVE 10 и многооборотном исполнении PVM 10 работают в соответствии с профилем Profibus profile Class 2 для шифраторов 3.2062.

Оба устройства работают через гальванически изолированный интерфейс RS-485 со скоростями передачи данных 9,6 кбод...12 Мбод и сертифицированы в качестве подчинённого устрой-



**Типовая конструкция абсолютных шифраторов с последовательным выводом**

ства промышленной сети Profibus-DP в соответствии с DIN E 19245 part 3. В съёмной крышке корпуса размещены DIP-переключатели, которые применяются для установки адреса ведомого устройства и коммутации расположенных там же согласующих резисторов.

Существующие исполнения шифраторов в корпусах из нержавеющей стали предназначены в основном для применений в пищевой и мясомолочной промышленности.

- PVE 10: разрешение 13 бит для однооборотного исполнения.
- PVM 10: разрешение 25 бит для многооборотного исполнения.
- Скорость передачи данных: 9,6 кбод...12 Мбод.
- Встроенные согласующие резисторы.
- Вариант исполнения: корпус из нержавеющей стали.

Набор функций Profibus profile фактически определяет эксплуатационные возможности устройства, подключенного к промышленной сети Profibus.

Подобные наборы функций вырабатываются в процессе совместной работы производителей и потребителей оборудования в организации Profibus Nutzerorganisation (ассоциация пользователей Profibus).

Примерами профилей Profibus являются NC/RC profile для сборочных роботов, PROFILEDRIVE profile для приводов с регулируемой скоростью, а также Profibus-DP profile для шифраторов, который определяет два класса поворотных шифраторов: Class 1 (с основными функциями) и Class 2 (с расширенными функциональными возможностями).

Поворотные шифраторы Class 1 имеют следующие основные функции:

- считывание данных о местоположении,
- переключение кодовой последовательности,
- считывание типа поворотного шифратора, разрешающей способности на оборот, полной разрешающей способности и т.д.

Поворотные шифраторы Class 2 реализуют все функции шифраторов Class 1 и такие дополнительные функции, как

- масштабирование разрешающей способности на оборот и суммарной разрешающей способности,
- считывание суммарного текущего значения времени эксплуатации и серийного номера,

Таблица 1. Абсолютные шифраторы с последовательным интерфейсом

Номер модели	AVE 10	AVM 10	CVE 10	CVM 10	PVE 10	PVM 10	IVE 10	IVM 10	BVE 10	BVM 10
Материал корпуса	Оцинкованная сталь				Алюминий/нержавеющая сталь					
Материал фланца	Алюминий									
Материал вала	Нержавеющая сталь									
Масса, г	460	460	460	460	750	750	700	700	460	460
Максимальная скорость вращения вала, об/мин	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000
Момент инерции вала, г·см <sup>2</sup>	30	30	30	30	30	30	50	50	30	30
Момент трогания вала, Н·см	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	5	5	<1,5	<1,5
Максимальная нагрузка на вал, Н	Осевая — 40				Осевая — 10				Осевая — 40	
	Радиальная — 60				Радиальная — 20				Радиальная — 60	
Конструктивный ресурс, об	4×10 <sup>10</sup>	4×10 <sup>10</sup>	4×10 <sup>10</sup>	4×10 <sup>10</sup>	4×10 <sup>10</sup>	4×10 <sup>10</sup>	6×10 <sup>8</sup>	6×10 <sup>8</sup>	4×10 <sup>10</sup>	4×10 <sup>10</sup>
Степень защиты	IP65	IP65	IP65	IP65	IP65	IP65	IP65	IP65	IP65	IP65
Диапазон рабочих температур, °С	-20...+80	-20...+80	-20...+80	-20...+80	-20...+80	-20...+80	0...+70	0...+70	-20...+70	-20...+70
Диапазон температур хранения, °С	-25...+85	-25...+85	-25...+85	-25...+85	-25...+85	-25...+85	-25...+85	-25...+85	-25...+85	-25...+85
Ударопрочность	100г, 3 мс	100г, 3 мс	100г, 3 мс	100г, 3 мс	100г, 3 мс	100г, 3 мс	200г, 12 мс	200г, 12 мс	100г, 3 мс	100г, 3 мс
Принцип измерения	Фотоэлектрический									
Разрешающая способность	12 бит	24 бит	13 бит	25 бит	13 бит	25 бит	13 бит	25 бит	13 бит	16 бит
Число оборотов	1	4096 (12 бит)	1	4096 (12 бит)	1	4096 (12 бит)	1	4096 (12 бит)	1	4096 (12 бит)
Число дискретов на оборот	4096 (12 бит)	4096 (12 бит)	8192 (13 бит)	8192 (13 бит)	8192 (13 бит)	8192 (13 бит)	8192 (13 бит)	8192 (13 бит)	8192 (13 бит)	8192 (13 бит)
Напряжение питания, В	18...32	18...32	18...32	18...32	18...32	18...32	10...30	10...30	Через AS-интерфейс	Через AS-интерфейс
Выходной код	Двоичный, код Грея	Двоичный, код Грея	Двоичный	Двоичный	Двоичный	Двоичный	Двоичный	Двоичный	Двоичный, код Грея	Двоичный, код Грея
Выходной каскад	RS-422, SSI (гальванически изолированный)		CAN-трансивер		RS-485 (гальванически изолированный), программирование через Profibus-DP		RS-485 (гальванически изолированный), программирование через Interbus		AS-интерфейс	
Переключение направления счёта	Да	Да	Да	—	—	—	—	—	Да	Да
Предустановка	Preset 1, Preset 2	Preset 1, Preset 2	—	—	—	—	—	—	—	—

● начальная предустановка.

Производитель шифраторов может задавать специальные функции, которые не пересекаются с множеством Class 2. В этом случае не гарантируется совместимость изделия с другими поворотными шифраторами Class 2.

Детальная информация о процедуре обмена данными, функции предварительной установки, эксплуатационных параметрах, стандартных параметрах, функции масштабирования, диагностических сообщениях приводится в руководстве пользователя на конкретную модель.

#### Программируемые абсолютные шифраторы серий AVE 10/AVM 10 с интерфейсом SSI

Абсолютные шифраторы нового поколения с интерфейсом SSI не только предоставляют информацию о текущем положении вала, но и создают широкие возможности по параметрированию и реализации дополнительных функций. В частности, в них существует возможность выбора вида выходного кода и его параметров, направления счёта при вращении вала по часовой стрелке; поворотный шифратор может юстироваться электронным образом.

Кроме того, разрешающая способность и измеренное расстояние могут быть согласованы на уровне программного обеспечения, так что более не требуется громоздких преобразований значений координат положения в управляющем устройстве.

Ранее в шифраторах использовался дополнительный датчик для контроля частоты вращения. Возможность параметрирования абсолютного шифратора исключает необходимость его использования за счёт организации сигнала выхода за установленные пределы или остановки раньше заданного предельного положения на одном из четырёх двухтактных выходов. Эти выходы могут быть также использованы для реализации «кулачковых» функций, таких как переключение привода с одного скоростного диапазона на другой. Скоростные диапазоны выбираются в пределах параметров измерительного интервала каждого из действующих «кулачковых» электронного кулачкового контроллера. «Кулачковые» функции позволяют реализовать сложные законы движения, что крайне важно при управлении исполнительными устройствами и механизмами.

- AVE 10: разрешение 13 бит для однооборотного исполнения.
- AVM 10: разрешение 25 бит для многооборотного исполнения.
- Программное обеспечение ROTA 1.0 для операционной системы Windows.
- Интерфейс SSI.
- Четыре дополнительных выхода для реализации «кулачковых» функций, сигналы мониторинга числа оборотов и т.д.
- Четыре входа управления для фиксирования данных, предварительной установки и др. Выпускаются также модели с типом вала «глухое отверстие» ASS 58/ASM 58. Существуют модификации этих датчиков в многооборотном исполнении, адаптируемые через интерфейс RS-232 к различным применениям посредством программного пакета ROTA. Возможна реализация таких функций, как масштабирование, сдвиг диапазона измерения, выбор вида выходного кода, порядок изменения кода, мониторинг скорости вращения вала, начальная предустановка, изменение формата SSI и др.

Кроме упомянутых датчиков, компанией выпускается серия AVS 58/AVM 58 с интерфейсом SSI.

CVS 58	CVM 58	DVS 58	DVM 58	PSS 58	PSM 58	PVS 58	PVM 58	AVS 58	AVM 58	
Алюминий				Алюминий/нержавеющая сталь						
Алюминий				Алюминий/нержавеющая сталь						
Нержавеющая сталь										
500	700	500	700	530/1050	565/1050	530/1050	565/1050	460/750	460/800	
6000	6000	6000	6000	10000	6000	12000	6000	6000	6000	
50	50	50	50	<30	<30	<30	<30	<30	<30	
<5	<5	<5	<5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	
Осевая — 20								Осевая — 40		
Радиальная — 110								Радиальная — 60		
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
IP65	IP65	IP65	IP65	IP65	IP65	IP65	IP65	IP65	IP65	
0...+70	0...+70	0...+70	0...+70	-20...+70	-20...+70	-20...+70	-20...+70	-20...+70	-20...+70	
-40...+85	-40...+85	-40...+85	-40...+85	-25...+85	-25...+85	-25...+85	-25...+85	-25...+85	-25...+85	
200g, 12 мс	200g, 12 мс	200g, 12 мс	200g, 12 мс	100 g, 3 мс	100 g, 3 мс	100 g, 3 мс	100 g, 3 мс	100 g, 3 мс	100 g, 3 мс	
Фотоэлектрический										
13 бит	25 бит	13 бит	25 бит	13 бит	25 бит	13 бит	25 бит	12 бит	25 бит	
1	4096 (12 бит)	1	4096 (12 бит)	1	4096 (12 бит)	1	4096 (12 бит)	1	4096 (12 бит)	
8192 (13 бит)	8192 (13 бит)	8192 (13 бит)	8192 (13 бит)	8192 (13 бит)	8192 (13 бит)	8192 (13 бит)	8192 (13 бит)	4096 (12 бит)	8192 (13 бит)	
10...30	10...30	10...30	10...30	18...30	18...30	18...30	18...30	11...30	11...30	
Двоичный	Двоичный	Двоичный	Двоичный	Двоичный	Двоичный	Двоичный	Двоичный	Двоичный, код Грея	Двоичный, код Грея	
Гальванически изолированный CANopen, DSP 406, Class 1 и Class 2 макс. скорость 1 Мбод		Гальванически изолированный DeviceNet, макс. скорость 0,5 Мбод		RS-485 (гальванически изолированный), Profibus, PNO-Profile 3.062 Class 2 Скорость передачи 0,0096...12 Мбод				RS-422 (гальванически изолированный), SSI-интерфейс Скорость передачи данных 0,05...1 Мбод		
—	—	—	—	—	—	—	—	Да	Да	
—	—	—	—	—	—	—	—	Preset1, Preset2	Preset1, Preset2	

шифраторов приращений в различных конструктивных исполнениях со сплошными или полыми валами, двух-, трёхканальные, с дифференциальными выходами и различными исполнениями выходных каскадов. В таблицах 2 и 3 приведены основные технические характеристики шифраторов приращений ряда популярных серий. Некоторые сведения о конструкции оптических шифраторов приращений представлены в [3].

Точность шифраторов приращений достаточно высока: допустимое отклонение между импульсами при их генерации в пересчёте на угол поворота диска составляет менее ±2 угловых секунд.

### ПРИМЕНЕНИЕ ШИФРАТОРОВ ДЛЯ ЛИНЕЙНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Одно из наиболее распространённых применений, использующих шифраторы, предполагает установку мерных колёс на вал для получения возможности измерения линейных перемещений.

В кооперации с фирмой ASM (Automation Sensors Measurement, Великобритания) компанией Pepperl+Fuchs производятся устройства, преобразующие линейное перемещение в поворотное (рис. 1), которые обеспечивают диапазоны измерения от 0...1250 мм до 0...8000 мм.

Для решения задач по определению линейных перемещений предлагаются мерные колёса (рис. 2), которые устанавливаются на валу шифраторов приращений. В целях предотвращения повреждений, вызываемых радиальной, осевой и угловой несогласованностями ведомых валов и валов шифраторов, поставляются гибкие соединительные муфты. Для обеспечения надёжного соединения кабелей компания предлагает кабельные соответствующие соединители (рис. 3).

При использовании мерных колёс необходимо руководствоваться следующими указаниями.

1. Не надо пытаться получить разрешающую способность лучше, чем 0,010" (0,254 мм) при использовании мерных колёс. Это возможно теоретически, но на практике недостижимо из-за существующего уровня допусков. Необходимо учитывать, что материал колеса будет расширяться и сжиматься при колебаниях температур. Также нужно иметь в виду, что колеса изнашиваются при эксплуатации. Кроме того, требуется точное

### Абсолютные шифраторы для систем DeviceNet и CANopen

В настоящее время компания Pepperl+Fuchs расширила номенклатуру абсолютных шифраторов для систем децентрализованного управления на основе промышленных сетей, разработав устройства DVS 58/DVM 58 для DeviceNet и CVS 58/DVM 58 для системы CANopen. Эти поворотные шифраторы устанавливаются на вал, а соответствующее электронное оборудование встроено в отдельные корпуса. Это позволяет размещать и обслуживать новые шифраторы и соответствующее электронное оборудование раздельно.

- Разрешающая способность 13 бит для однооборотных устройств, 25 бит для многооборотных устройств.
- Возможность раздельной установки, замены и обслуживания электронного оборудования обмена по сети (интерфейсная часть) и шифратора.
- Диаметр вала: 6 и 10 мм.
- Исполнение фланцев: зажимные с валом под эксцентрик и под шпонку. Шифраторы отвечают всем требованиям CANopen profile device для шиф-

раторов в соответствии с CiA Work Draft Proposal 406.

В рамках стандарта CANopen регламентируются различные системные наборы функций (профили), доступные пользователю. Установлены профили (profile) двух категорий (class): категория C1 предполагает простые неконфигурируемые функции, а категория C2 — расширенную функциональность шифраторов. К этим функциям относятся, например, масштабирование отрезка измерения на один оборот, масштабирование области измерения (общей разрешающей способности), предустановка значений опорной точки.

Со стороны программного обеспечения поддерживаются все функции, соответствующие шифраторам категорий C1 и C2 для CANopen. Через шину можно запрограммировать, например, направление отсчёта (вперёд/назад), разрешение на перемещение, общее разрешение, а также граничные точки (два предельных положения).

### Шифраторы приращений

Компания Pepperl+Fuchs GmbH предлагает широкую номенклатуру

Таблица 2. Шифраторы приращений со сплошным валом

Номер модели	TRD-J	TRD-GK	TRD-G	Series 10	Series 58	Series 30	Series 14	Series 20	Series 21	Series 60
										
Материал корпуса	Алюминий	Алюминий	Нержавеющая сталь	Цинковый сплав или нержавеющая сталь	Алюминий или нержавеющая сталь	Оцинкованная или нержавеющая сталь	Алюминий	Цинковый сплав	Алюминий	Пластик никелированный
Материал фланца	Алюминий	Алюминий	Алюминиевый сплав	Алюминий, нержавеющая сталь	Алюминий, нержавеющая сталь	Алюминий, нержавеющая сталь	Алюминий	Цинковый сплав	Алюминий	Цинковый сплав
Материал вала	Нержавеющая сталь									
Масса, г	220	630	630	335	295	1250	3000	450	300	400
Измерительный диск	Стекланный или пластиковый							Пластиковый	Никель/стекло	Пластиковый
Максимальная скорость вращения вала, об/мин	10 000	5 300	3000	6000	12 000	6000	6000	3000	12000	6000
Момент трогания вала, менее Н·см	0,3	5	5	1,5	1	5	15	0,5	0,2	1
Максимальная нагрузка на вал (осевая/радиальная), Н	30/50	50/100	50/100	60/80	40/60	60/80	60/80	10/10	10/16	40/60
Конструктивный ресурс, об	5×10 <sup>9</sup>	1,2×10 <sup>10</sup>	1,2×10 <sup>10</sup>	2×10 <sup>10</sup>	5×10 <sup>9</sup>	2×10 <sup>10</sup>	2×10 <sup>10</sup>	2×10 <sup>10</sup>	1×10 <sup>11</sup>	2,5×10 <sup>10</sup>
Степень защиты	IP65*, IP50**	IP65	IP65	IP65	IP65	IP65	IP65	IP65	IP40	IP65
Диапазон рабочих температур, °С	-20...+80	-10...+80	-10...+70	-20...+70	-20...+80	-20...+70	-20...+70	-20...+60	-10...+70	-20...+60
Диапазон температур хранения, °С	-40...+100	-25...+85	-25...+85	-40...+70	-40...+70	-40...+70	-40...+70	-40...+60	-30...+80	-40...+60
Ударопрочность	100г, 3 мс	100г, 1 мс	100г, 1 мс	100г, 1 мс	—	—	—	—	—	—
Вибростойкость	Случайная вибрация 10-2000 Гц при виброускорении 10g			—	—	—	—	—	—	—
Число импульсов на оборот для пластикового/стеклянного диска	1...800/ 30...2500	1...1500/ 60...5000	1...25/ 30...100***	1...1500/ 60...5000	1...1500/ 60...5000	1...1500/ 60...5000	1...1500/ 60...5000	1...500	9...1500	1...1250
Максимальная частота выходного сигнала, кГц	160	100	5 (индуктивный)/1 (фотоэлектрический)	100	160	100	50	20	25	50
Напряжение питания, В	5/10...30	10...30	8	5/8...24	5/10...30	5/8...24/ 10...30	5/8...24/ 10...30	5/10...30	5/10...30	5/10...30
Вид выходного сигнала	ТТЛ/RS-422/ двухтактный выход	Двухтактный выходной каскад	NAMUR	ТТЛ/RS-422/ двухтактный выходной каскад	RS-422/ двухтактный каскад	ТТЛ/RS-422/ двухтактный выходной каскад	ТТЛ/RS-422/ двухтактный выходной каскад	ТТЛ/ двухтактный выход	RS-422/ двухтактный выход	ТТЛ/ двухтактный выход
Число выходных каналов	Один/два/три	Два/три	Два	Один/два/три	Три	Один/два/три	Два/три	Один/два/три	Три/шесть	Один/два/три
Маркировка взрывозащиты	—	—	EEx ia IIC T6/ EEx ib IIC T6	—	—	—	EEx d IIC T6	—	—	—

\* IP65 с сальниковым уплотнением вала;

\*\* IP50 без сальникового уплотнения;

\*\*\* Для пластикового/металлического диска

центрирование колеса для того, чтобы достичь высокой разрешающей способности, так как любой перекоос осей может быть причиной пробуксовки колеса. Данное явление не может быть обнаружено невооружённым глазом, но если измерения не совпадают с ожидаемыми результатами, именно оно является одной из наиболее вероятных причин ошибки.

2. Удостоверьтесь, что выбран подходящий тип колеса. Компания Pepperl+Fuchs GmbH и многие другие фирмы предлагают колёса, которые имеют алюминиевую накатку либо покрытие из мягкой бугорчатой

резины, пластика Nyltel или уретана. Колёса марок 9101, 9112, 9108, 9113 выполнены из пластика, покрытого Nyltel; 9102, 9106 выполнены из алюминия, покрытого бугорчатой резиной; 9103, 9110 изготовлены из алюминия с накаткой. Покрытия колёс не подлежат замене, так как очень трудно сохранить допуск при смене обода и крышки. По этой причине не предлагаются восстанавливаемые модели. Фактический выбор материалов мерного колеса определяется особенностями материала объекта, по которому оно перемещается. Резина, как правило, обеспечивает хорошее сцепление, но она недолговечна. Пластик прочнее резины и в большинстве случаев служит дольше, но более твёрдая поверхность ко-

леса обеспечивает меньшую силу сцепления.

3. Для крепления шифратора и мерного колеса необходимо применять гибкую монтажную арматуру. Это одно из основных требований, связанных с возможностью изменения толщины материала, проходящего над или под колесом. Если шифратор с мерным колесом установлен жёстко, то мягкий материал может быть раздавлен и в большинстве случаев результатом будет испорченное изделие, а в случае твёрдого материала в результате можно получить изогнутый или сломанный вал или повреждённый подшипник. Зачастую только веса шифратора вместе с колесом, соединительным кабелем, креплением или пружинами достаточно для того, чтобы обеспе-

Таблица 3. Шифраторы приращений с полым валом

Номер модели	Series 74	Series 81	Series 60	Series 85	Series 88
					
Материал корпуса	Алюминий	Цинковый сплав	Цинковый сплав	Алюминий	Цинковый сплав
Материал фланца	Алюминий				
Материал вала	Нержавеющая сталь				
Масса, кг	0,9	0,16	0,4	0,35	0,9
Измерительный диск	Стекланный	Пластиковый	Пластиковый	Пластиковый	Пластиковый
Максимальная скорость вращения вала, об/мин	6000	3000	6000	6000	6000
Момент трогания вала, менее Н·см	5	0,75	1	1,5	1,5
Конструктивный ресурс, об	2×10 <sup>10</sup>	—	2,5×10 <sup>10</sup>	—	—
Степень защиты	IP64	IP52	IP50	IP54	IP54
Диапазон рабочих температур, °С	-20...+60	-20...+60	-20...+60	-20...+60	-20...+60
Диапазон температур хранения, °С	-20...+60	-40...+60	-40...+60	-40...+60	-40...+60
Ударопрочность	100g, 6 мс	—	—	100g, 1 мс	100g, 1 мс
Вибростойкость	10g, 10...2000 Гц	—	—	—	—
Число импульсов на оборот	10...5000	1...500	1...1250	1...1500	1...2500
Максимальная частота выходного сигнала, кГц	200	20	50	35	20
Напряжение питания, В	5/10...30	5/10...30	5/10...30	5/10...30	5/10...30
Вид выходного сигнала	RS-422, двухтактный выходной каскад	ТТЛ, двухтактный выходной каскад	ТТЛ, двухтактный выходной каскад	RS-422, ТТЛ двухтактный выходной каскад	RS-422, ТТЛ двухтактный выходной каскад
Число выходных каналов	Три	Три	Один/два/три	Три	Три
Маркировка взрывозащиты	EEx d IIC T6	—	—	—	—



Рис. 1. Внешний вид конструкции модуля LinRot LR19 — преобразователя линейных перемещений в поворотное

чить требуемую прижимную силу. Если это не так, используются дополнительные средства, которые выбираются для достижения минимальной прижимной силы, необходимой для гарантированного сцепления мерного колеса с материалом.

4. Мерное колесо не должно вращаться слишком быстро. Для колёс оптимальная скорость составляет от 3600 до 4000 об/мин. При повышенных



Рис. 2. Внешний вид конструкций мерных колёс фирмы Pepperl+Fuchs GmbH



Рис. 3. Внешний вид кабельных соединителей

скоростях уменьшается точность измерения, так как из-за быстрого перемещения колеса усиливаются воздействия на него различных дестабилизирующих факторов и возникают биения, которые приводят к потере отсчётов, а также к осевым и радиальным перегрузкам на валу, неблагоприятно влияющим на срок службы прецизионного подшипника шифратора. В случае если измеряемый материал является непрочным, как бумага, любой незначительный сбой мерного колеса во время перемещения на повышенных скоростях может вызвать разрез материала или повреждения другого рода.

### **ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ВО ВЗРЫВОБЕЗОПАСНОМ ИСПОЛНЕНИИ**

Выбор конструкции корпуса, типа выходного сигнала поворотных шифраторов определяется конкретным применением. Автоматизированные системы управления технологическими процессами предприятий газовой, химической, угольной и нефтеперерабатывающей промышленности оперируют информацией, собираемой с рас-

положенных во взрывоопасных средах объектов, что требует применения высоконадёжного и безопасного оборудования. Для автоматизированных систем управления, размещённых во взрывоопасных средах, компанией Pepperl+Fuchs предлагаются модели шифраторов (рис. 4) с видами взрывозащиты Ex i «искробезопасная электрическая цепь» (шифраторы приращений серии TRD-G с особовзрывобезопасным и взрывобезопасным уровнями взрывозащиты электрической цепи) и Ex d «взрывонепроницаемая оболочка» (шифраторы приращений серий 14, 74, абсолютные шифраторы серий AE74, CE74).

Модели с видом взрывозащиты Ex i формируют выходные сигналы в соответствии с требованиями NAMUR (Normenarbeitsgemeinschaft für Mess- und Regelungstechnik der chemischen Industrie). Датчики с выходом NAMUR подключаются к внешним импульсным усилителям, которые преобразуют изменения уровня тока в дискретные сигналы. Pepperl+Fuchs предлагает широкий выбор подобных усилителей во взрывобезопасном и обычном исполнении.



**Рис. 4. Внешний вид конструкции шифратора Series 74 с полым валом во взрывобезопасном исполнении (вид взрывозащиты Ex d)**

Оболочки и крепёжные элементы поворотных шифраторов с видом взрывозащиты Ex d выдерживают высокое давление, которое возникает внутри оболочки. Конструкция оболочки такова, что не допускает проникновения внутрь взрывоопасных смесей, но в то же время оснащена специальными щелями для выпуска газов, образующихся при воспламенении. Ширина щели взрывонепроницаемого

соединения является важной частью конструкции, размеры которой не могут быть превышены или уменьшены. При монтаже аппаратуры с видом взрывозащиты Ex d электропроводка должна выполняться в соответствии с требованиями вида взрывозащиты «повышенная надёжность против взрыва» (Ex e).

### СОПРЯЖЕНИЕ ШИФРАТОРОВ С УСТРОЙСТВАМИ ОБРАБОТКИ И ОТОБРАЖЕНИЯ

Для обработки измерительной информации, вырабатываемой поворотными кодирующими устройствами, широко применяются микропроцессоры, установленные непосредственно в большинстве современных шифраторов. Такие датчики называются интеллектуальными, так как они способны проводить предварительную обработку измерений и самодиагностику устройства. Связь шифраторов с контроллерами и рабочими станциями операторов осуществляется через интерфейсы последовательной передачи данных RS-422/RS-485, Profibus-DP, Interbus, CAN, AS-i. Для сопряжения шифраторов с различными вычислительными системами (VME, AT96, ISA и др.) производится множество специализированных плат. Предлагаются различные схемные решения и специализированные микросхемы для декодирования квадратурных сигналов, генерируемых оптическими шифраторами приращений.

Простейшую схему для декодирования квадратурного сигнала (рис. 5) можно построить на основе сдвоенного одновибратора 74HC4538 [4]. Сигнал одной из фаз пары квадратурных сигналов поступает положительным и отрицательным фронтами на входы запуска двух одновибраторов в составе микросхемы 74HC4538. Сигнал другой фазы поступает на входы сброса обеих половин схемы. Сигналы на выходах появляются в зависимости от наличия опережения или отставания по фазе сигнала А относительно сигнала В и только при высоком уровне сигнала сброса. Два внешних резистора и два внешних конденсатора определяют длительность сигналов на выходах в соответствии с выражением  $t = 0,7RC$ . Длительность сигнала  $t$  должна быть выбрана меньше самого короткого из квадратурных сигналов. При параметрах элементов, приведенных на рисунке,  $t = 210$  мкс.

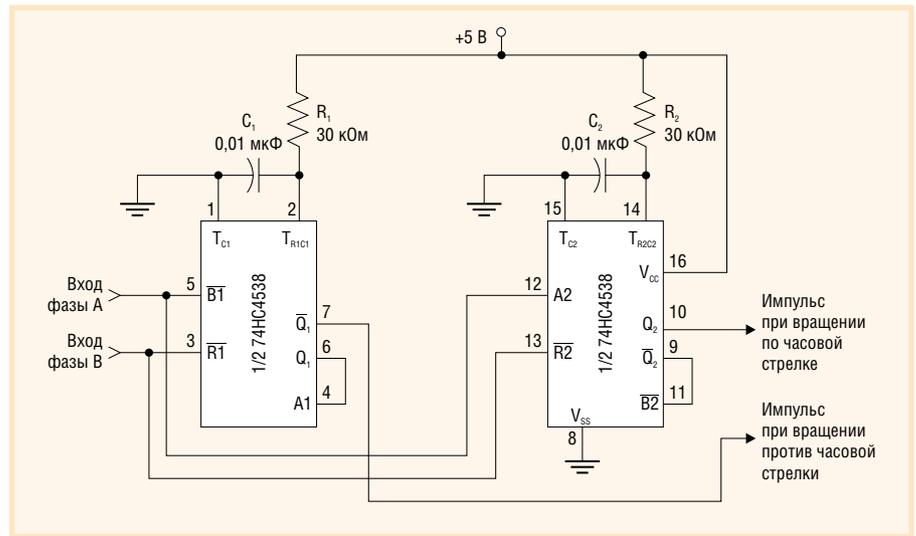


Рис. 5. Схема, построенная на основе сдвоенного одновибратора, представляет собой простой декодер квадратурных сигналов. Постоянные времени цепочек  $R_1C_1$  и  $R_2C_2$  задают длительность выходных сигналов, которые должны быть короче самого короткого квадратурного сигнала

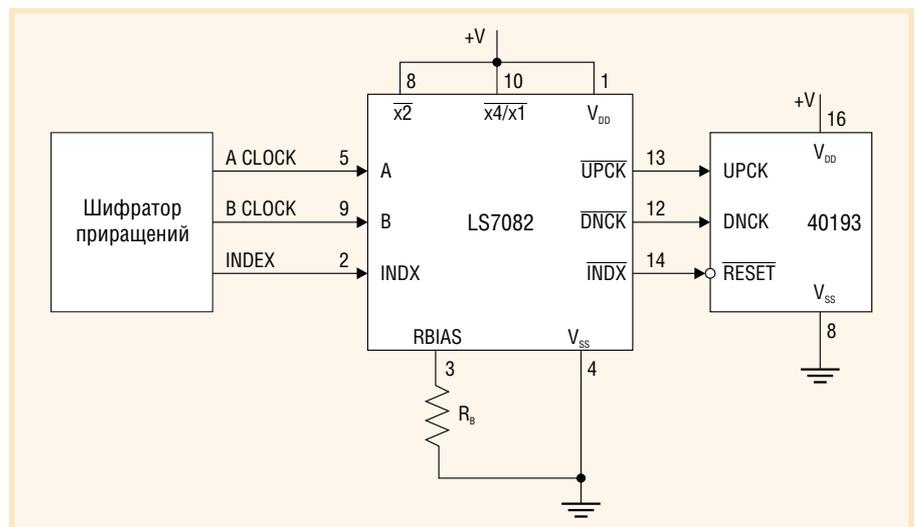


Рис. 6. Типовая схема подключения в режиме x4

### Специализированные интегральные микросхемы

Широкую номенклатуру специализированных ИМС для работы с квадратурными сигналами предлагает фирма LSI Computer Systems, Inc. (США). Преобразователь квадратурных сигналов LS7082 — монолитная ИМС с комплиментарной МДП-структурой (КМОП-технология). Квадратурные сигналы, генерируемые оптическими или магнитными шифраторами приращений, при поступлении на входы А и В преобразуются в последовательности суммирующих (Up Clocks) и вычитающих (Down Clocks) тактовых импульсов. Импульсы, поступающие с индексной дорожки (Index Track) шифратора, при поступлении на вход INDX вырабатывают опорные импульсы абсолютного положения, которые синхронизированы с сигналами Up Clocks

(UPCK) и Down Clocks (DNCK). Эти выходные сигналы могут быть сопряжены непосредственно со стандартными реверсивными счётчиками для считывания информации о направлении и положении шифратора. На рис. 6 представлена типовая схема использования LS7082 в режиме x4.

Специализированная ИМС LS7166 представляет собой 24-разрядный многорежимный счётчик. Краткие технические характеристики LS7166:

- программируемые режимы: реверсивный, двоичный, двоично-десятичный, суточные часы (24-часовые тактовые импульсы), схема пересчёта на N, x1, x2 или x4 квадратуры или отдельный период, диапазон частот от 0 до 20 МГц;
- 8-разрядная магистраль ввода-вывода для связи с микропроцессорами и системами управления;

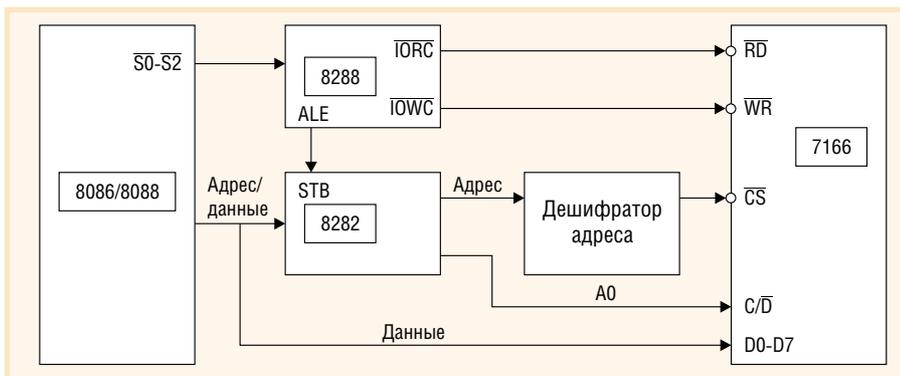


Рис. 7. Функциональная схема сопряжения ИМС LS7166 с микропроцессорной системой на CPU 8086/8088 (Maximum Mode)

- 24-разрядный компаратор для сравнения с заданным предельным значением;
- считываемый регистр состояния;
- совместимость по входу и выходу с ТТЛ- и КМОП-логикой.

На рис. 7 представлена схема сопряжения ИМС LS7166 с микропроцессорной системой 8086/8088.

Поставляются также микросхемы LS7083 и LS7084 сопряжения шифраторов приращений со счётчиками 74193 или 40193 и 4516 или 74169 соответственно.

### Плата квадратурного декодера и счётчика PCL-833

Фирма Advantech выпускает 3-канальную плату PCL-833 квадратурного декодера и счётчика для установки в IBM PC/AT совместимые компьютеры (шина ISA). Эта плата позволяет вы-

полнять текущий контроль положения в системах управления движением. На плате установлены 24-разрядные реверсивные счётчики для квадратурного декодирования и 16 МГц генератор развёртки с умножителем широкого диапазона. Размещённый на плате контроллер прерываний обрабатывает девять различных источников прерываний. Плата применяется в системах



Внешний вид платы обработки квадратурных сигналов PCL-833 фирмы Advantech

управления движением, определения направления движения, измерения и контроля, измерения координат в станках, координатных графопостроителях, робототехнике, системах управления станками. На рис. 8 представлена функциональная схема платы PCL-833, а её краткие характеристики представлены в табл. 4.

В табл. 5 представлены максимальные значения частоты входного сигнала при различных режимах работы и синхронизирующих частотах системного тактового генератора.

### Квадратурный режим работы

Квадратурный сигнал состоит из двух периодических импульсных последовательностей А и В, которые отличаются по фазе на 90°. Плата PLC-833 подсчитывает переходы сигналов и определяет направление перемещения, сравнивая соотношение фаз между сигналами каналов.

Существует три разных способа подсчёта в режиме квадратурного сигнала: x1 — счётчик будет увеличивать (или уменьшать) значение всякий раз, когда на входе А действует нарастающий фронт импульса;

x2 — счётчик будет увеличивать (или уменьшать) значение всякий раз, когда на входе А действует нарастающий или спадающий фронт сигнала;

x4 — значение счётчика будет увеличиваться (или уменьшаться) всякий раз, когда на входах А и В действуют

### Вопросы погрешности и точности на примере оптических шифраторов

**Суммарная погрешность** оптического шифратора определяется как **инструментальная погрешность + квадратурная погрешность + погрешность интерполяции + ошибка квантования**. Суммирование этих составляющих соответствует наихудшему случаю, что на практике обеспечивает некоторый запас по погрешности.

**Инструментальная погрешность** — это сумма эксцентриситета (отклонения положения оси) кодирующего диска, погрешностей кодирующей маски, биения подшипника и других оптических и механических погрешностей деталей и устройств шифратора. Эта погрешность имеет тенденцию медленно меняться со временем. Обычно она выражается в угловых секундах или минутах. В применениях, где контролируемый объект работает с очень малым углом поворота, в большинстве случаев можно допускать, что значительная часть инструментальной погрешности будет оказываться за пределами рабочей дуги.

**Квадратурная погрешность** определяется суммарным действием допустимых отклонений фазы, коэффициента заполнения импульсной последовательности и других параметров основных аналоговых сигналов. Эта погрешность оценивается применительно к данным, полученным на всех четырёх

переходах из одного состояния в другое в пределах оптического периода («4X квадратурное декодирование»). Если данные извлечены из 1X последовательности импульсов по 1X основанию, то есть на единственном переходе за период, эта погрешность может быть проигнорирована. В перечне технических характеристик большинства шифраторов квадратурная погрешность выражается в электрических градусах (1/360 часть периода синусоидального сигнала); можно преобразовать это в угловые единицы измерения, пользуясь одной из формул:

$$\begin{aligned} \text{погрешность в угловых секундах} &= (3600) \times (\text{погрешность в электрических градусах}) / (\text{интервал отсчёта диска}); \\ \text{погрешность в угловых минутах} &= (60) \times (\text{погрешность в электрических градусах}) / (\text{интервал отсчёта диска}); \\ \text{погрешность в миллирадианах} &= (17,45) \times (\text{погрешность в электрических градусах}) / (\text{интервал отсчёта диска}). \end{aligned}$$

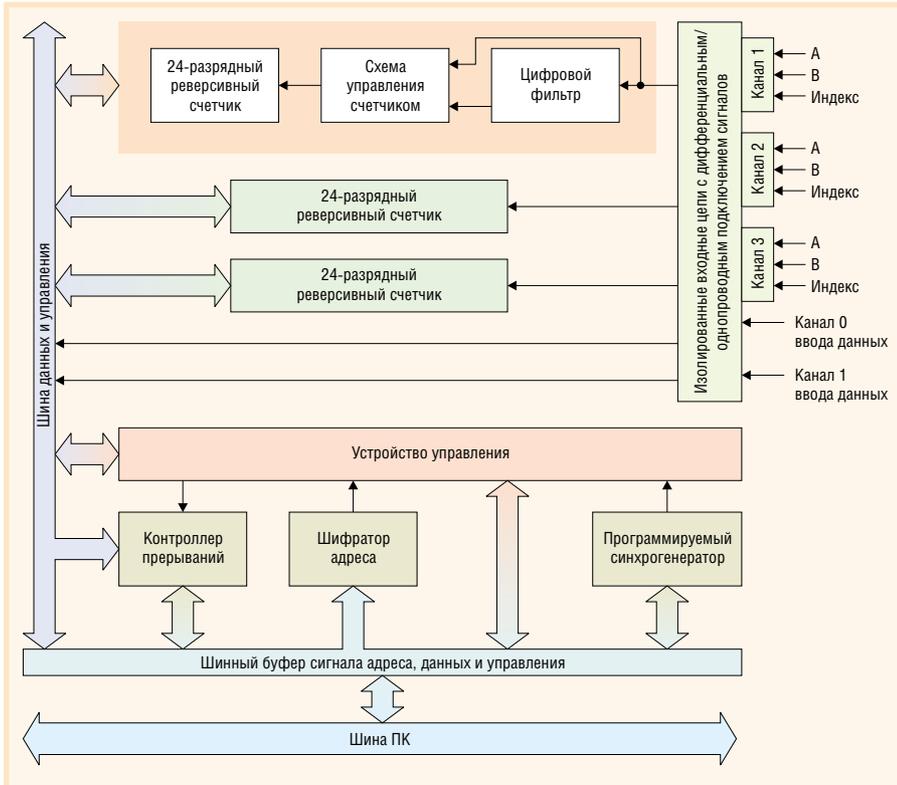
**Погрешность интерполяции** присутствует только в тех случаях, когда разрешающая способность была увеличена электронным способом до значения, большего чем четыре измерительных шага за оптический период. Фактически это сумма всех допустимых отклонений в электронной схеме интерполяции. Некоторые поставщики в справочных данных пред-

**Таблица 4. Краткие технические характеристики платы PCL-833 (для квадратурного сигнала)**

Количество независимых каналов	Три (возможность работы по трём координатам)
Максимальная частота квадратурных сигналов	1 МГц
Максимальная частота импульсной последовательности	2,4 МГц
Количество отсчётов за период шифратора	1, 2 или 4 (выбирается программными средствами)
Тип подключения	Однопроводная или дифференциальная схема
Ёмкость счётчика	24 разряда, путём простого последовательного соединения увеличивается до 48 разрядов
Режимы работы счётчика	Квадратурный, реверсивный, импульсы/направление (выбирается программно)
Цифровой фильтр	4-каскадный
Частота выборки	8, 4 или 2 МГц (выбирается программно)
Гальваническая изоляция входной части схемы от системной шины	Диэлектрическая прочность 2500 В (действующее значение)

**Таблица 5. Максимальные значения частоты входного сигнала при различных режимах работы PLC-833**

Режим	Максимальное значение частоты входного сигнала		
	8 МГц	4 МГц	2 МГц
Квадратурный (x1, x2, x4)	1 МГц	600 кГц	300 кГц
Реверсивный (две импульсные последовательности)	2,4 МГц	1,2 МГц	600 кГц
Импульсы/направление (с заданием направления счёта)	2,4 МГц	1,2 МГц	600 кГц



**Рис. 8. Функциональная схема платы PCL-833**

нарастающие или спадающие фронты сигналов.

**Режим реверсивный**

В двухимпульсном режиме в качестве источников вычислений плата PLC-833 использует два входных импульса: один для подсчёта при движении по часовой стрелке (CW), другой для подсчёта при движении против часовой стрелки (CCW). Значение счётчика бу-

дет уменьшаться каждый раз, когда действует нарастающий фронт импульса в канале А; значение счётчика будет увеличиваться всякий раз при нарастающем фронте импульса в канале В.

**Режим импульсы/направление**

В этом режиме плата PCL-833 использует входную линию А для подсчёта импульсов, а другая входная линия В служит для определения направления перемещения. Если линия В имеет высокий уровень (логическая 1), значе-

ставляют погрешность в квантах – шаг квантования, определяемый предельной разрешающей способностью шифратора, также называемый шагом измерения.

**Погрешность квантования** по существу не является погрешностью шифратора, а является параметром, свойственным любому цифровому измерительному прибору. Это мера неопределённости, являющаяся результатом отсутствия информации между переходами из одного состояния в другое; её значение всегда лежит в пределах ±1/2 кванта. Перечни технических характеристик шифраторов обычно определяют только точность при переключениях сигналов, и погрешность квантования в них не включается, но она не должна быть проигнорирована в тех случаях, когда определяется суммарный бюджет погрешности для конкретного применения.

Один из методов измерения точности шифратора заключается в том, чтобы вращать шифратор с весьма точно регулируемой скоростью и измерять интервал времени между соседними переключениями выходного сигнала. Современная электроника позволяет измерять этот временной интервал довольно точно, но невозможно отделить колебания скорости, задаваемой испытательным стендом, от погрешностей положения шифратора. Современные возможности по регулированию скорости делают этот способ пригодным для шифраторов с точностными характеристиками от низкого до среднего

уровня, а высокоточные шифраторы нуждаются в более совершенных методах измерения погрешностей положения.

Классическим способом измерения погрешности определения местоположения является применение автоколлиматора - многогранного зеркала, смонтированного на валу шифратора. Угол между гранями известен с высокой степенью точности. После приема отражённого света от зеркал вал шифратора может быть повернут на известный угол, полученный угол поворота сравнивается с выходным сигналом шифратора. У этого способа существуют два труднопреодолимых недостатка: он очень медленный и трудоёмкий, так как допускает весьма ограниченное число измерений за один оборот вала.

Для преодоления этих недостатков фирма Gurley Precision Instruments разработала уникальный угловой эталон, так называемый METRA – Master Encoder for Testing Rotary Accuracy (образцовый шифратор для проверки точности поворота). Ядром METRA является оптический шифратор с диском диаметром 20 дюймов, который смонтирован на подвижном шпинделе. Технология с применением многократных измерений устраняет практически все погрешности. METRA имеет разрешающую способность 2<sup>21</sup> отсчётов/оборот, или 0,62 угловых секунды на отсчёт. Так как образцовому шифратору свойственна высокая угловая точность, нет необходимости точно контролировать скорость.

ние счётчика будет уменьшаться каждый раз при действии нарастающего фронта в канале А. Если значение сигнала канала В имеет низкий уровень (логический 0), значение счётчика будет увеличиваться каждый раз при нарастающем фронте сигнала канала А.

Программно осуществляются «зашёлкивание» данных в буферном регистре, «зашёлкивание» данных реперным сигналом и другие полезные функции.

### Аппаратные средства в формате MicroPC

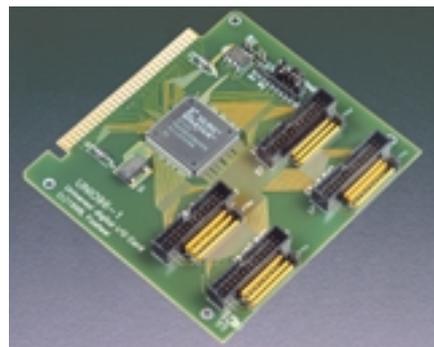
Представляет интерес программируемая плата ввода-вывода UNIO96/48 фирмы Fastwel, предназначенная для обработки и выдачи логических сигналов. Плата может быть установлена в монтажные корзины MicroPC, в гнезда IBM PC совместимых компьютеров или подсоединена гибким шлейфом к краевым печатным разъёмам других плат. Благодаря использованию перепрограммируемых логических матриц (FPGA) и технологии внутрисистемного программирования (ISP, In-System Programming) платы могут применяться для решения многих задач. Изменения варианта загружаемой схемы (или

кода схемы), а следовательно, и алгоритма обработки сигналов осуществляется перепрограммированием соответствующего EEPROM непосредственно в системе. Плата может применяться для решения следующих задач:

- управление модулями ввода-вывода Grayhill, Opto-22;
- приём и выдача дискретных сигналов;
- измерение частоты и фаз сигналов;
- счётно-таймерные операции;
- формирование частотных и ШИМ-сигналов;
- реализация временных диаграмм без использования ресурсов системы;
- преобразование кодов;
- ускорение логических или арифметических операций.

Код схемы с идентификатором «x32» реализует два 32-разрядных счётчика сигналов шифратора приращений. В состав схемы входят следующие функциональные блоки (рис. 9):

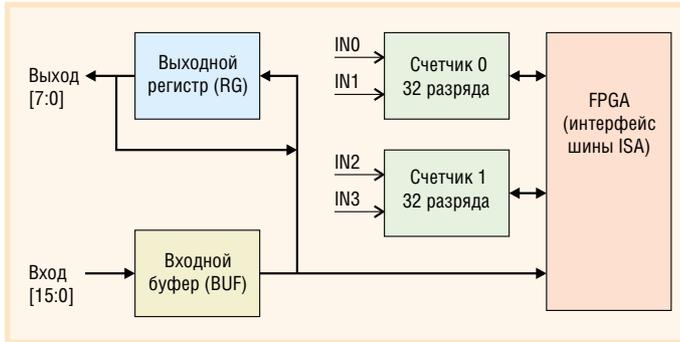
- интерфейс 8-разрядной шины ISA;
- выходной регистр (RG) для дискретных управляющих сигналов;
- 32-разрядные счётчики импульсов (СТ0, СТ1);
- входной буфер (BUF) для считанных дискретных сигналов.



Внешний вид многофункциональной платы дискретного ввода-вывода UNIO96/48 фирмы Fastwel

Реверсивный счётчик СТ0 использует для счёта вход IN1, направление счёта определяется соотношением фаз входов IN0, IN1. Реверсивный счётчик СТ1 использует для счёта вход IN3, направление счёта определяется соотношением фаз входов IN2, IN3. Существуют модифицированные варианты схем счётчиков импульсов шифраторов «x31» и «x30», в которых реализованы дополнительные функции (генерация прерываний, алгоритм подавления влияния проскользывания вала на результаты и др.)

Обработку сигналов шифраторов приращений также можно обеспечить



**Рис. 9. Функциональная схема варианта «x32» платы UNI096/48. Может быть реализовано 8/4 подобных каналов**

подключением сигналов непосредственно к параллельным портам микроконтроллеров серии 6000, процессорных плат 5025A, 5066 фирмы Octagon Systems и CPU686 фирмы Fastwel. В качестве системы разработки программного обеспечения сбора данных и управления можно применить систему UltraLogik, которая разработана в соответствии со стандартом МЭК IEC 61131 и в качестве основного языка программирования использует язык функциональных блок-диаграмм Function Block Diagram (FBD).

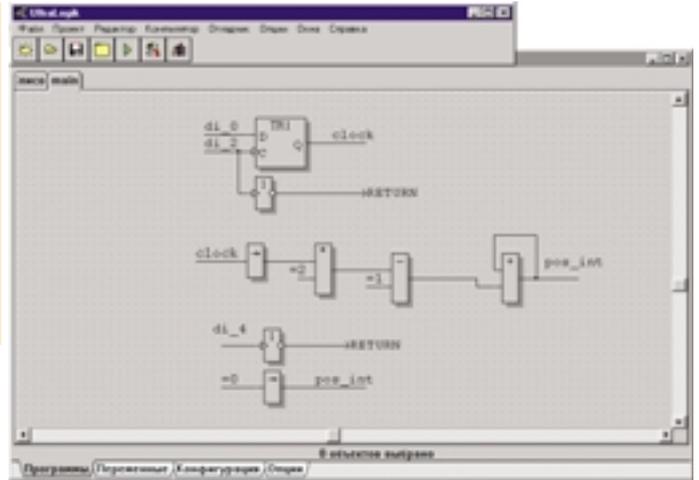
На рис. 10 представлен пример программы обработки сигналов шифратора приращений на языке функциональных блок-диаграмм. Квадратурные сигналы di\_0 (канал А), di\_2 (канал В) обрабатываются функциональным блоком D-триггера TR1, который формирует сигнал clock (направление вращения), использующийся в дальнейшем счётчиком для формирования сигнала pos\_int (положение объекта). Сигнал INDEX (di\_4) определяет начало отсчёта. Вспомогательный функциональный блок, подключённый к di\_2, формирует сигнал Return (выход из программы) в случае отсутствия сигналов на входе.

Использование процессора 386SX/40 МГц в режиме сканирования позволяет осуществлять надёжное считывание сигналов частотой 5...7 кГц, а процессора AMD 5x86/133 МГц — сканировать до 10 кГц.

**Решения для различных шин и интерфейсов**

Плата многофункционального высокоскоростного программируемого счётчика с гальванической развязкой АРСІ-1710 (фирма ADDI-DATA) предназначена для применения в вычислительных системах с шиной РСІ.

Функции платы программно конфигурируются отдельно для каждого



**Рис. 10. Пример программы на языке FBD для обработки сигналов шифратора приращений**



**Внешний вид платы многофункционального высокоскоростного программируемого счётчика с гальванической развязкой АРСІ-1710 фирмы ADDI-DATA**

канала, они включают подсчёт импульсов и сбор данных с шифраторов приращений, интерфейс SSI, таймер и функции прерывания. Гибкие программные средства этой платы обеспечивают широкий круг возможностей по применению, которые легко перенастраиваются по мере возникновения технических потребностей.

Основные технические характеристики:

- 32-разрядные данные;

- счётчик 32 разряда, максимальная частота до 5 МГц;
- сигналы уровня ТТЛ или RS-422, сигналы с амплитудой 24 В;
- 28 дискретных оптоизолированных входа, 12 дискретных оптоизолированных выходов;
- четыре функциональных модуля расположены на плате, каждый может программироваться как
  - 4 канала для сбора импульсов или опроса 2 шифраторов приращений, 3 таймеров (8254),
  - или 33 шифратора с интерфейсом SSI,
  - или 4 канала для измерения частоты,
  - 7 цифровых входных каналов (ТТЛ, дифференциальное подключение, 24 В) и 1 дискретный выходной канал (ТТЛ, дифференциальный, 24 В);
- возможно программирование заказных функций.

В номенклатуре немецкой фирмы Lippert Automationstechnik GmbH, специализирующейся на разработке и производстве плат для промышленного применения, имеется плата S-PC96-INC-1 (рис. 11), предназначенная для обработки данных с шиф-



**Рис. 11. Внешний вид конструкции платы обработки сигналов шифратора приращений S-PC96-INC-1 фирмы Lippert Automationstechnik GmbH**

ратора приращений: разрешающая способность 16 бит, частота 500 кГц, три канала, вход для ввода сигнала реферной точки. Плата предназначена для установки в системах с шиной AT96 (реализация 16-разрядной шины ISA в конструктиве Евромеханика).

Обширную номенклатуру оборудования для обработки информации с шифраторов приращений и абсолютных шифраторов разрабатывает и поставляет фирма ERMA Electronic GmbH. Номенклатура предлагаемого оборудования включает:

- устройства обработки и отображения информации с шифраторов

приращений, предназначенные для монтажа в щит управления (панель), которые осуществляют функции тахометра, снабжены интерфейсами для последовательной передачи информации RS-485, RS-232, средствами передачи информации по токовой петле (CM 3001);

- прибор для обработки информации, представленной в параллельном коде (двоично-десятичный код, двоичный код, код Грея), — FA 2510;
- оборудование для установки в стойки на направляющие типа DIN (CM 9001, PM 9000);
- платы обработки информации для установки в вычислительные системы с шиной ISA, как-то: программируемые счётчики (ZIB 1155, ZIB 1155/OPTO, ZIB 1177), платы (IO 1188, IO 1213, IO 1283) для обработки информации в параллельной форме, представляемой абсолютными шифраторами;
- платы и приборы для осуществления связи с шифраторами через специализированный последовательный интерфейс SSI (SSI 3001, SSI 9001, SSI 1276).



Рис. 12. Внешний вид конструкции тахометра серии TC-V6S-V фирмы Peperl+Fuchs GmbH

### Вспомогательное оборудование

Компания Peperl+Fuchs GmbH поставляет в качестве вспомогательного оборудования измерительные преобразователи (тахометры) серий KCN1, KCT, TC-V6S (рис. 12), TC-4 для обработки информации с шифраторов приращений и определения частоты вращения, скорости и временных параметров. Диапазон входных частот тахометров серии TC-V6S — до 20 кГц. Благодаря функции изменения коэффициента пересчёта, информация может быть представлена в разных единицах измерения (например импульсы могут быть преобразованы в обороты). На выходе тахометра возможно получение таких данных о периодических процессах, как количество оборотов за единицу времени, расстояние, пройденное за единицу времени, время цикла и т.п.

### Некоторые тенденции развития поворотных кодирующих устройств

Если задуматься о том, сколько разнообразных приводов, шестерёнок, ведущих и ведомых осей, валов, роликов применяется в промышленных системах управления и контроля, становится понятным, отчего задача сбора, преобразования и обработки информации о связанных с ними угловых и линейных перемещениях является столь актуальной. Разработчики и поставщики поворотных кодирующих устройств стремятся к тому, чтобы для каждого применения предложить оптимальный преобразователь.

Современные преобразователи угловых перемещений различаются по многим показателям: разрешающей способности, способу кодирования, характеристикам и протоколам сетей связи с системами управления и обработки информации, а также по эксплуатационным возможностям — работоспособности в условиях воздействия

механических дестабилизирующих факторов, диапазонам рабочих температур и температур хранения или, например, возможности эксплуатации во взрывоопасных зонах. На фоне процессов модернизации и развития этой техники наблюдается отчётливая тенденция к расширению применений абсолютных шифраторов углов поворота [5]. Вместо обычных шифраторов приращений в условиях постоянно возрастающих требований к рациональности производственных установок и процессов обработки информации всё успешнее используются абсолютные шифраторы, в том числе абсолютные поворотные шифраторы с параллельным выходом.

Применение абсолютных датчиков не только делает ненужными и избыточными так называемые счётные входы в системах автоматического управления и контроля, но и экономит время получения результатов и делает процесс измерения более точным и надёжным, поскольку в этом случае погрешности не накапливаются, а общий бюджет погрешностей уменьшается за счёт сокращения числа их источников. Шифраторы приращений обычно ис-

пользуют начальную точку отсчёта, которую после остановки или воздействия помех необходимо заново установить; поворотные абсолютные шифраторы кодируют в соответствии со своей разрешающей способностью все координаты положения как абсолютные точки отсчёта, их выходные коды непосредственно показывают положение объекта, к тому же они обеспечивают более высокое значение точности измерения, поскольку погрешности, вызванные электромагнитными помехами, оказывают здесь незначительное влияние. Без продолжительных настроек и предварительного конфигурирования абсолютные шифраторы выдают информацию о местоположении объекта или углах поворота сразу после включения или восстановления питания. Эти качества особенно важны в случаях, когда постоянно требуется перенастройка оборудования, например в станках, предназначенных для выпуска небольших партий продукции, применение абсолютных шифраторов существенно сокращает время простоя оборудования. При этом необходимо отметить возможность их подключения к стандартным промышленным

сетям, что создаёт абсолютным шифраторам преимущество при использовании в больших и сложных системах за счёт, например, снижения затрат на проводку кабелей и организацию передачи данных.

**Подключение к промышленным сетям**

Наилучшим решением для сложных и многофункциональных систем является применение датчиков со встроенными возможностями подключения к промышленным сетям. Компанией Pepperl+Fuchs предлагаются удобные программные средства, работающие в среде ОС Windows и предназначенные для конфигурирования и диагностики подключенных к сети датчиков. Абсолютные датчики обеспечивают сопряжение с основными видами промышленных сетей, такими как Profibus, DeviceNet, CANopen, Interbus, а также AS-интерфейс. Кроме того, компанией поставляются преобразователи с интерфейсом SSI, который специально разработан для передачи данных с выхода абсолютного шифратора в систему управления.

Интересной особенностью моделей с интерфейсами Profibus, DeviceNet и CANopen является то, что интерфейсный электронный узел размещен в сменной крышке корпуса датчика (рис. 13). Конструктивное разделение чувствительных элементов датчика и цифровых схем, обеспечивающих ввод-вывод данных, придаёт функциональную гибкость всему устройству. Открутив всего три винта, можно снять эту крышку и легко перенастроить шифратор с одной системы на другую. С другой стороны, такая конструктивная особенность обеспечивает возможность замены датчиков без работ по изменению адресов или переподключению, что упрощает их обслуживание.

В зависимости от исполнения интеллектуальные датчики делают ненужным или избыточным какое-либо дополнительное оборудование для контроля за числом оборотов, так как при недостижении или превышении определённой границы они генерируют соответствующие сигналы, а кроме того, способны проводить самодиагностику



**Рис. 13. Поворотные шифраторы со сменными электронными блоками, реализующими согласование с различными последовательными интерфейсами**

и предварительную обработку результатов измерений.

В соответствии с современными тенденциями в центре внимания находятся интеллектуальные шифраторы со встроенными средствами сопряжения с промышленными сетями. Однако если сигнал передаётся через последовательный интерфейс, то, как правило, невозможно избежать определённой временной задержки, в то время как широкий круг «быстродействующих» применений все-таки требует поступления данных в реальном масштабе времени. Поэтому датчики с параллельным выходным сигналом не только не забыты, но и появляются их новые серии, например, абсолютные поворотные шифраторы Fast Parallel Equipment фирмы Pepperl+Fuchs.

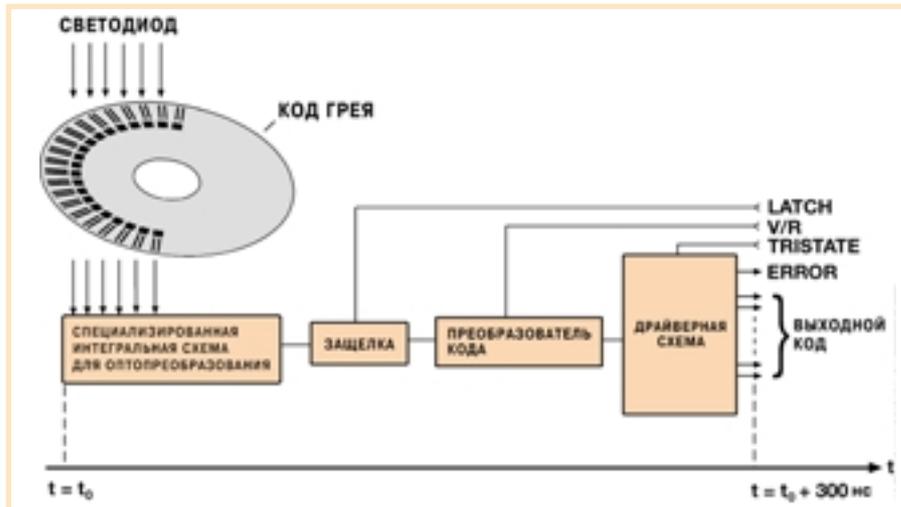
**Абсолютные поворотные шифраторы с параллельным выходом**

Поворотные шифраторы с параллельным выходом долгое время нахо-

дились в тени. Существовала опасность, что они будут забыты вследствие доминирования организации связи промышленного оборудования посредством промышленных сетей; тем не менее, датчики с параллельным выходом незаменимы в тех применениях, где критическим фактором является скорость передачи данных.

Специально для подобных приложений компания Pepperl+Fuchs разработала серии шифраторов Fast Parallel FVS58, FSS58 и FHS58 (табл. 6). Эти однооборотные абсолютные шифраторы не имеют встроенных микроконтроллеров и иных вычислительных средств, что делает возможным генерировать данные в реальном времени и сразу передавать их в систему управления. При разработке данных шифраторов особое внимание было уделено высокой устойчивости к отказам, скорости оптоэлектронного сканирования. Устойчивые к воздействию температуры высокоинтегрированные электронные компоненты, пришедшие на смену обычным дискретным компонентам, и ASIC (специализированные интегральные схемы) с температурной компенсацией обеспечивают точное и стабильное определение местоположения. Показания, считанные кодирующим диском, появляются на выходе через 300 нс.

Кодирование измерительной информации осуществляется в коде Грея, избыточном коде Грея, двоичном и двоично-десятичном кодах. Другими характерными чертами шифраторов этих серий (рис. 14) являются возможность использования аварийного выходного сигнала (ERROR) для осуществления текущего контроля функционирования и наличие входов для переключе-



**Рис. 14 Структура однооборотного абсолютного шифратора с параллельным выходным кодом, предоставляющего информацию об угловых положениях в реальном времени; микропроцессор и средства сопряжения с промышленными сетями преднамеренно исключены**

Таблица 6. Абсолютные шифраторы с параллельным выводом информации

Номер модели	SCS 10	SCS 14	Series AE74, CE74	SCM 30	FVS 58	FSS 58	FHS 58
							
Материал корпуса	Оцинкованная сталь	Алюминий	Алюминий	Оцинкованная сталь	Алюминий	Алюминий	Алюминий
Материал фланца	Алюминий	Алюминий	Алюминий	Алюминий	Алюминий	Алюминий	Алюминий
Материал вала	Нержавеющая сталь				Нержавеющая сталь (полый)		
Масса, г	460	3240	900	1100	350	350	350
Максимальная скорость вращения вала, об/мин	6000	6000	6000	6000	12000	10000	6000
Момент инерции вала, г·см <sup>2</sup>	30	400	80	300	30	30	30
Момент трогания вала, Н·см	1,5	1,5	5	1,5	1,5	1,5	1,5
Число измерительных квантов на оборот	8192	8192	8192	4096 (число оборотов 4096)	8192	8192	8192
Максимальная нагрузка на вал, Н	Осевая — 40	Осевая — 40	—	Осевая — 40	Осевая — 40	—	—
	Радиальная — 60	Радиальная — 60		Радиальная — 60	Радиальная — 60*		
Конструктивный ресурс, об	4×10 <sup>10</sup>	4×10 <sup>10</sup>	2×10 <sup>10</sup>	3,5×10 <sup>10</sup>	1,8×10 <sup>12</sup>	1,8×10 <sup>12</sup>	1,8×10 <sup>12</sup>
Степень защиты	IP65	IP65	IP64	IP66	IP65 (уплотнение вала), IP67 (корпус)	IP65 (уплотнение вала), IP67 (корпус)	IP65 (уплотнение вала), IP67 (корпус)
Вид взрывозащиты	—	—	EEx d IIC T6	—	—	—	—
Диапазон рабочих температур, °C	-20...+80	-20...+80	-20...+60	-20...+80	-20...+100	-20...+100	-20...+100
Диапазон температур хранения, °C	-20...+85	-20...+85	-20...+60	-20...+85	-40...+110 (расширенный)	-40...+110 (расширенный)	-40...+110 (расширенный)
Ударопрочность	100г, 3 мс	100г, 3 мс	100г, 3 мс	100г, 3 мс	—	—	—
Вибростойкость	—	—	10г, 10...2000 Гц	—	—	—	—
Принцип измерения	Фотоэлектрический						
Максимальная частота выходного сигнала, кГц	4	4	500	4	400	400	400
Время переходного периода, нс	—	—	100	—	300	300	300
Напряжение питания, В	18...32	18...32	5/10...30	18...32	10...30	10...30	10...30
Выходной код	Двоичный, двоично-десятичный, код Грея, код Грея с избытком	Двоичный, двоично-десятичный (8421), код Грея, код Грея с избытком	AE – SSI, RS-422, CE – параллельный (код Грея)	Двоичный, двоично-десятичный (8421), код Грея, код Грея с избытком	Двоичный, двоично-десятичный (8421), код Грея, код Грея с избытком	Двоичный, двоично-десятичный (8421), код Грея, код Грея с избытком	Двоичный, двоично-десятичный (8421), код Грея, код Грея с избытком
Переключение направления счёта	Да	Да	—	Да	Да	Да	Да
«Защёлкивание» данных	Да	Да	—	Да	Да	Да	Да
Высокоимпедансное состояние	Да	Да	—	Да	Да	Да	Да
Предустановка	Preset 1, Preset 2	Preset 1, Preset 2	—	—	—	—	—

ния направления движения (V/R), «защёлкивания» данных (LATCH) и переключения выходных линий в высокоимпедансное состояние (TRISTATE). Доступны несколько конструкций с максимальной разрешающей способностью 13 бит (8192 отсчётов/оборот).

Модели со сплошным валом и сменным полым валом разработаны для скоростей до 12000 об/мин, конструкции с полым валом — до 6000 об/мин. Все поворотные преобразователи имеют диаметр фланца 58 мм. Высококачественные детали, в том числе прецизионные шарикоподшипники, обеспечивают ресурс до 10<sup>12</sup> оборотов при

максимальной нагрузке на вал. Устойчивость к электромагнитным воздействиям, вибрациям и ударам, соответствующая требованиям стандартов IEC 68-2-27 и/или IEC 68-2-6, а также обеспечение степени защиты IP65 и IP67 являются характерными особенностями серий Fast Parallel, делающими их пригодными для применений в жёстких условиях окружающей среды. Эти изделия могут быть успешно использованы в конструкциях станков, в конвейерном и складском оборудовании, автомобильной промышленности и во многих других областях, чему в немалой степени способствуют приемлемые цены.

Внутреннюю конструкцию и компоновку элементов оптоэлектронной системы шифратора FxS58 иллюстрирует рис. 15.

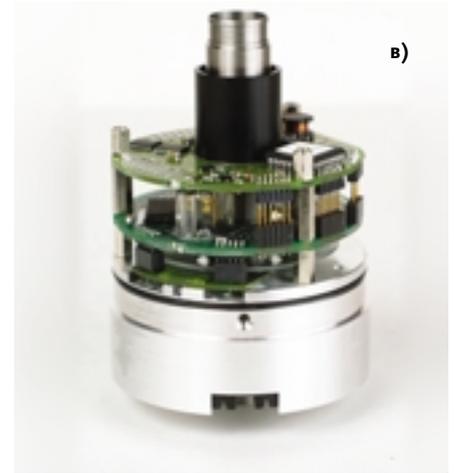
На рис. 16 показана диафрагма оптической ASIC, которая предотвращает переоблучение находящейся под ней приёмной матрицы. Приёмная матрица встроена в ASIC и выполняет роль усилителей, которые преобразуют входной высокоомный сигнал в низкоомный. Благодаря коротким межсоединениям, использованию оптических элементов и равномерному пространственному распределению компонентов схемы, достигается чрезвычайно высокая помехоустойчивость всей сис-



а)



б)



в)

а) Кодированный диск и специализированная интегральная микросхема (ASIC) установлены и отъюстированы с микронной точностью

б) Плата схемы светодиодов; здесь же размещены регистры для «защёлкивания» данных

в) Верхняя плата включает в себя EEPROM для хранения программы, выходные схемы, цепи питания

**Рис. 15. Высокоинтегрированная оптоэлектронная система считывания абсолютного шифратора с полым валом**

темы. За световой интенсивностью передающего диода осуществляется текущий контроль, это позволяет корректировать интенсивность в случае температурных колебаний или старения компонентов.

**ПРИМЕНЕНИЕ ПОВОРОТНОГО ШИФРАТОРА С ВОЛС НА ПРИМЕРЕ СИСТЕМЫ BMW 7**

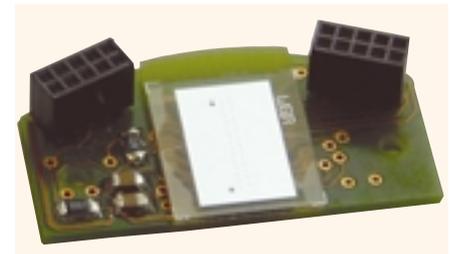
Для современного производства кузовов автомобилей характерным является органичное соединение центров обработки с системой транспортировки, причём в качестве транспортного средства вместо конвейера здесь выступают специальные подвесные электрические вагонетки, которые доставляют кузова от одного производственного участка (центра обработки) к другому.

Эти участки, оснащённые сварочными роботами, соединяются между собой рельсами подвесной электродороги, которая проложена под крышей каждого цеха. За счёт использования подвесной электродороги нескольких высотных уровней можно избежать пересечения этих рельсов, кроме того, есть возможность образовывать некие буферные зоны (карманы), в которых накапливаются кузова автомобилей для дальнейшей обработки. Переход с одного уровня на другой для этой электрической подвесной дороги возможен при помощи специальных подъёмно-транспортных механизмов.

Подъёмник представляет собой отрезок направляющего рельса, который при помощи специальной подъёмной балки может перемещаться между несколькими уровнями (рис. 17). Очень

важным критерием здесь является точность позиционирования: движение может быть безопасным только тогда, когда рельс подъёмника точно совпадает с рельсом стационарного участка.

Ранее позиционирование обеспечивалось применением индуктивных бесконтактных реле положения: на стальной линейке, которая закреплялась на



**Рис. 16. Специализированная интегральная схема (ASIC) для оптопреобразования**



Рис. 17. Цех подготовки кузовов на автомобильном заводе BMW-Dingolfing

подъёмнике, находились демпфирующие флажки, а на каждом уровне подъёмника устанавливалось до трёх индуктивных бесконтактных датчиков положения, при этом датчики были расположены рядом с тем местом (до, после, непосредственно на месте), на которое должен встать рельс. Управляющим устройством распознавались следующие состояния с выдачей необходимых управляющих сигналов:

- подъёмник движется сверху или снизу,
- выбрать медленное/ползущее движение или быстрое перемещение,
- подъёмник находится в нужном месте (два датчика положения сработали),
- подъёмник находится выше/ниже необходимого положения.

Получение этой информации требовало больших затрат. Каждый датчик, размещённый на отдельном уровне, должен был быть подключён отдельным проводом с коммутационной коробкой, которая подключалась к промышленной сети Interbus.

Ввод в эксплуатацию такого сооружения вообще являлся достаточно дорогостоящим и хлопотным, поскольку механические компоненты (управляющая линейка, держатель датчика) размещались на трёх различных уровнях и нуждались в настройке и текущем техническом обслуживании.

В конечном итоге после ввода в эксплуатацию получилась жёсткая система позиционирования, и когда подъёмник находился между двумя уровнями, то никаких данных о его местоположении не поступало.

При разработке новой системы BMW 7 [6] была поставлена задача заменить индуктивные бесконтактные

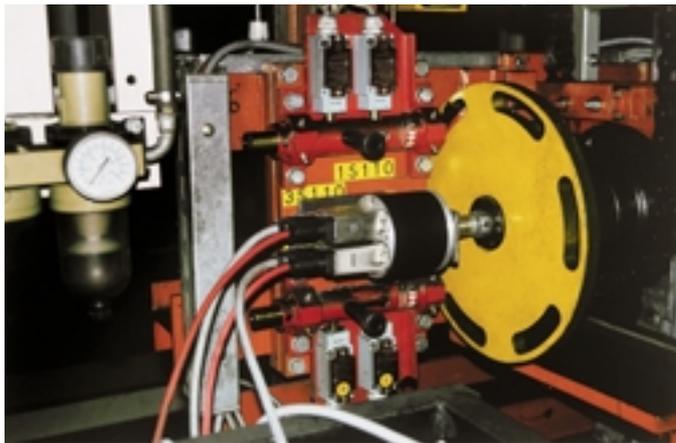


Рис. 18. Шифратор серии IVM 10-10 PH, установленный в системе управления подъёмно-транспортным устройством на заводе BMW-Dingolfing

реле положения, применяемые для наблюдения за подъёмниками, единственным абсолютным шифратором на каждый подъёмник. Кроме того, многооборотный датчик должен соответствовать концепции промышленной сети, используемой на производстве. Естественно, стоимость нового решения не должна была превышать стоимости прежней системы.

На автомобильных заводах в Европе и особенно в Германии широко распространена сеть Interbus. Так и в данном случае в качестве промышленной сети выбрана сеть Interbus с использованием ВОЛС и со скоростью передачи данных до 2 Мбод.

Ввод в эксплуатацию нового подъёмника требует только одного рабочего, который устанавливает шифратор: достаточно подъехать к точке установки и присоединить кабели — больше ничего делать не надо (рис. 18). Для приведения датчика в действие используются данные, записанные в его EEPROM: параметры калибровки датчика, числовые значения предварительной установки (конфигурирования).

Приведённый пример наглядно демонстрирует возможности абсолютных шифраторов. В случае их применения можно сократить расходы, повысить отдачу от оборудования и, между прочим, использовать новейшие сетевые протоколы со всеми их преимуществами. Достаточно «слепая» и «жёсткая» система трансформировалась в гибкую, которая постоянно получает оперативную информацию от датчиков. Оснащённые шифраторами подъёмники обеспечивают более быструю и точную работу по транспортировке кузовов автомобилей.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В номенклатуре фирмы Pepperl+Fuchs GmbH представлены современные типы поворотных шифраторов в обычном и взрывобезопасном исполнении, с высокими метрологическими и надёжными характеристиками, широкими функциональными возможностями, позволяющие решать задачи измерения угловых перемещений в различных отраслях промышленности в составе систем распределённого управления на основе промышленных сетей. ●

## ЛИТЕРАТУРА

1. Жданкин В.К. Pepperl + Fuchs = надёжность// Современные технологии автоматизации. — 2001. — № 1.
2. Rainer Russ. Neue Generation von Interbus-Encodern. — Mannheim: Pepperl+Fuchs Drehgeber GmbH, 2000.
3. Жданкин В.К. Поворотные шифраторы: основные типы и некоторые особенности применения // Современные технологии автоматизации. — 2001. — № 2.
4. Кеннет Джин Киз. Декодер квадратурных сигналов: Пер. с англ.// Электроника. — 1992. — № 11-12.
5. Mehr Funktionalitat, Geschwindigkeit, Zuverlassigkeit...Drehgeber-Trends auf der Hannover Messe 2001. — Mannheim: Pepperl+Fuchs, 2001.
6. Rainer Russ. Interbus-Drehgeber mit Lichtwellenleiter am Beispiel der BMW 7er Reihe. — Mannheim: Pepperl+Fuchs Drehgeber GmbH, 2000.

**В.К. Жданкин — сотрудник фирмы ПРОСОФТ**  
 117313 Москва, а/я 81  
 Телефон: (095) 234-0636  
 Факс: (095) 234-0640  
 E-mail: victor@prosoft.ru