

Виктор Жданкин

## Абсолютные датчики углового положения с интерфейсом SSI

При решении широкого круга задач в различных областях науки и техники необходимо производить прецизионные измерения величин угловых перемещений разного рода объектов. Для этого часто применяются оптические абсолютные датчики углового положения, формирующие кодированный выходной сигнал, который индицирует абсолютное угловое положение контролируемого объекта. Достаточно высокая степень защищённости исполнения датчиков, а также высокая устойчивость к внешним воздействиям позволяют применять их в робототехнических комплексах, манипуляторах сварочных роботов на полностью автоматизированных линиях автомобильных заводов, порталных роботах, роботах с шарнирными сочленениями, отрезных станках, шлюзах, конвейерных системах, устройствах управления вентиляционными заслонками, прядильном оборудовании, строгальных станках, упаковочном оборудовании, экструзионных прессах, фальцевальных машинах, печатных станках, клеймильных машинах, системах управления склад-

ским подъёмным оборудованием, системах управления воздушным движением и т.п.

Общие сведения о конструкции абсолютных датчиков углового положения с различными способами выдачи данных приведены в [1] и [2]. В данной статье представлены абсолютные преобразователи углового положения с интерфейсом SSI (Synchronous Serial Interface — синхронный последовательный интерфейс) фирмы Pepperl+Fuchs GmbH (Германия), приведены сведения об интерфейсе SSI, изложены практические сведения о применении преобразователей.

### Интерфейс SSI: Общие сведения

Интерфейс SSI был специально разработан для надёжной передачи значений регистрируемых перемещений или текущих координат от одно- и многооборотных абсолютных датчиков углового положения в систему управления. Замечательные свойства SSI демонстрируют значительный прогресс в области интерфейсов для абсолютных датчиков уг-

лового положения на фоне традиционных способов передачи данных (параллельного и асинхронного последовательного):

- аппаратная реализация интерфейса отличается простотой и использует небольшое число стандартных электронных компонентов;
- независимо от разрешающей способности датчика требуется только четыре линии для передачи данных и синхронизирующих сигналов;
- защищённые выходные данные представлены в коде Грея, который легко преобразуется в двоичный код;
- гальваническая изоляция датчиков и устройств управления реализована посредством оптронов;
- передача данных между датчиком и управляющим устройством синхронизируется сигналами управляющего устройства;
- информация от нескольких датчиков углового положения может запоминаться одновременно без дополнительных схем;
- в зависимости от расстояния может быть достигнута скорость передачи до 1,5 Мбит/с;
- возможна организация работы в режиме кольцевого регистра.

### Принцип синхронной последовательной передачи данных

Главным преимуществом системы синхронной последовательной передачи данных является то обстоятельство, что контроллер задаёт синхронизацию и скорость передачи данных. Это минимизирует опасность потери информации при передаче.

Функциональные схемы абсолютного датчика углового положения и интерфейса SSI, а также временные диаграммы синхронной последовательной передачи данных представлены на рис. 1, 2, 3.

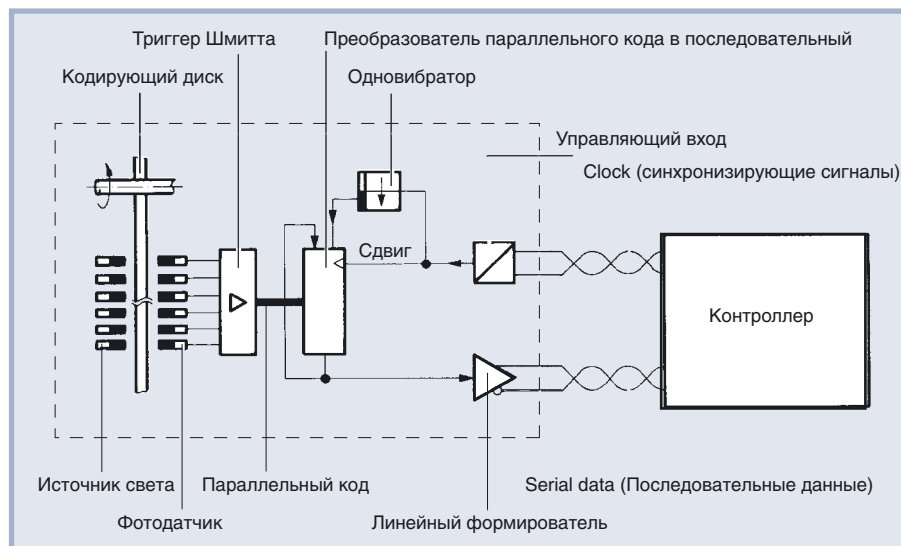
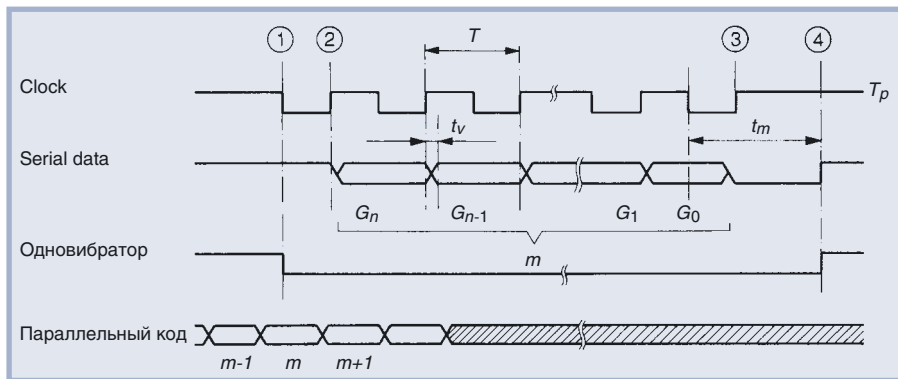


Рис. 1. Функциональная схема абсолютного датчика углового положения с интерфейсом SSI



Условные обозначения:

- $m$  — зафиксированный параллельный код;
- $t_v$  — время задержки;
- $G_n$  — старший значащий разряд кода Грея;
- $G_0$  — младший значащий разряд кода Грея;

- $T$  — период синхросигналов;
- $t_m$  — время восстановления одновибратора ( $20 \pm 10$  мкс);
- $T_p$  — пауза между последовательностями импульсов.

Рис. 2. Временная диаграмма передачи данных

Рассмотрим порядок выполнения синхронной последовательной передачи данных.

- Фотодатчики, установленные после кодирующих дисков, выдают непрерывную позиционную информацию.
- Позиционный код поступает на параллельные входы преобразователя параллельного кода в последовательный.
- Контроллер запрашивает у датчика значение текущих координат посредством посылки импульсной последовательности с периодом  $T$  на управляющий вход датчика (число синхронизирующих импульсов в последовательности зависит от числа бит, которые необходимо передать).
- В исходном состоянии линии *Clock* и *Serial data* находятся в состоянии логической «1». По первому отрицательному фронту в последовательности синхросигналов *Clock* (точка 1 на временной диаграмме, рис. 2) запускается одновибратор, и в преобразователе параллельного кода в последовательный фиксируется значение кода положения вала датчика (пока одновибратор находится в состоянии логического «0», новый параллельный код не может быть введен в преобразователь).
- Первым положительным фронтом в последовательности синхросигналов *Clock* (точка 2 на временной диаграмме, рис. 2) старший значащий разряд зафиксированного значения кода Грея передается в контроллер.
- По последующим положительным фронтам последовательности синх-

росигналов *Clock* производится побитовая передача в контроллер остальных разрядов кода. Синхроимпульсы постоянно перезапускают одновибратор таким образом, что его выход сохраняет состояние логического «0», предотвращая обновление кода, зафиксированного преобразователем.

- В момент, когда младший значащий разряд принимается контроллером, последовательность синхроимпульсов завершается (точка 3 на временной диаграмме, рис. 2).
- Одновибратор больше не запускается и через интервал времени  $t_m$  (точка 4 на временной диаграмме, рис. 2) выход устанавливается в значение логической «1», разрешая приём новых параллельных кодов преобразователем параллельного кода в последовательный. Линия *Serial data* также устанавливается в состояние логической «1», и датчик снова готов к выдаче значения текущей координаты углового положения.

После отрицательного перепада синхронизирующего сигнала, завершающего последовательность импульсов, одновибратор устанавливает линию *Serial data* в состояние логического «0» и определяет своей внутренней задержкой время  $t_m$ , показывающее, как долго будет удерживаться линия в этом состоянии. В данный период времени зафиксированное значение кода может быть считано повторно путём перевода сигнала *Clock* в состояние

логического «0» и подачи соответствующего числа синхроимпульсов. По истечении времени  $t_m$  линия *Serial data* устанавливается в состояние логической «1», и датчик готов к выдаче нового значения текущей координаты углового положения. Минимальная продолжительность паузы ( $T_p$ ) между двумя последовательностями синхроимпульсов, поступающих на управляющий вход датчика, должна быть больше времени восстановления одновибратора ( $t_m$ ), которое, в свою очередь, должно быть больше периода следования синхроимпульсов ( $T$ ):

$$T_p > t_m, t_m > T$$

Существует различие между однократной и многократной передачами значения текущей координаты. Для передачи зафиксированного значения кода необходимо подать на управляющий вход датчика определённое число импульсов —  $n$ . В случае однократной передачи  $n = 13$  для однооборотных моделей датчиков с разрешающей способностью 12 разрядов и  $n = 25$  для многооборотных моделей с разрешающей способностью 24 разряда.  $L$ -кратная передача значения одного и того же кода потребует подачи на управляющий вход датчика  $L$  последовательностей из 14 и 26 импульсов соответственно, то есть в каждой последовательности добавляется по импульсу.

Для синхронной последовательной передачи упорядоченных данных возможно представление их в древовидном формате. В табл. 1 приведены соответствующие структуры данных для однооборотных (AVS58) и многооборотных (AVM58) датчиков с разрешающей способностью 12 и 24 бита соответственно. С левой стороны от центральной оси всегда присутствуют 12 бит, которые представляют число оборотов. С правой стороны от центральной оси присутствуют по крайней мере 13 бит, которые представляют количество отсчё-

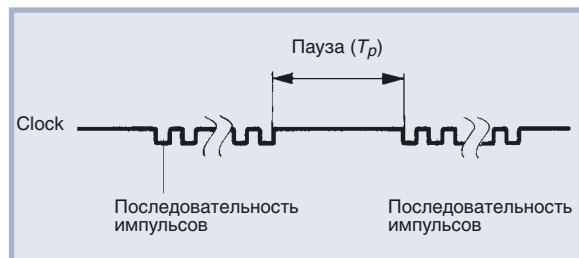


Рис. 3. Последовательности импульсов для синхронной последовательной передачи данных

Таблица 1. Представление в древовидном формате данных для однооборотных и многооборотных датчиков

AVM58 (многооборотный)		AVS58 (однооборотный)																											
		Clock (синхро- сигналы)												Clock (синхро- сигналы)															
Z	2 <sup>Z</sup>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25			
12	4 096	1	1	2 <sup>11</sup>	2 <sup>10</sup>	2 <sup>9</sup>	2 <sup>8</sup>	2 <sup>7</sup>	2 <sup>6</sup>	2 <sup>5</sup>	2 <sup>4</sup>	2 <sup>3</sup>	2 <sup>2</sup>	2 <sup>1</sup>	2 <sup>0</sup>	2 <sup>11</sup>	2 <sup>10</sup>	2 <sup>9</sup>	2 <sup>8</sup>	2 <sup>7</sup>	2 <sup>6</sup>	2 <sup>5</sup>	2 <sup>4</sup>	2 <sup>3</sup>	2 <sup>2</sup>	2 <sup>1</sup>	2 <sup>0</sup>	0/P*	4 096
11	2 048	1	1	0	2 <sup>10</sup>	2 <sup>9</sup>	2 <sup>8</sup>	2 <sup>7</sup>	2 <sup>6</sup>	2 <sup>5</sup>	2 <sup>4</sup>	2 <sup>3</sup>	2 <sup>2</sup>	2 <sup>1</sup>	2 <sup>0</sup>	2 <sup>10</sup>	2 <sup>9</sup>	2 <sup>8</sup>	2 <sup>7</sup>	2 <sup>6</sup>	2 <sup>5</sup>	2 <sup>4</sup>	2 <sup>3</sup>	2 <sup>2</sup>	2 <sup>1</sup>	2 <sup>0</sup>	0	0/P*	2 048
10	1 024	1	1	0	0	2 <sup>9</sup>	2 <sup>8</sup>	2 <sup>7</sup>	2 <sup>6</sup>	2 <sup>5</sup>	2 <sup>4</sup>	2 <sup>3</sup>	2 <sup>2</sup>	2 <sup>1</sup>	2 <sup>0</sup>	2 <sup>9</sup>	2 <sup>8</sup>	2 <sup>7</sup>	2 <sup>6</sup>	2 <sup>5</sup>	2 <sup>4</sup>	2 <sup>3</sup>	2 <sup>2</sup>	2 <sup>1</sup>	2 <sup>0</sup>	0	0	0/P*	1 024
9	512	1	1	0	0	0	2 <sup>8</sup>	2 <sup>7</sup>	2 <sup>6</sup>	2 <sup>5</sup>	2 <sup>4</sup>	2 <sup>3</sup>	2 <sup>2</sup>	2 <sup>1</sup>	2 <sup>0</sup>	2 <sup>8</sup>	2 <sup>7</sup>	2 <sup>6</sup>	2 <sup>5</sup>	2 <sup>4</sup>	2 <sup>3</sup>	2 <sup>2</sup>	2 <sup>1</sup>	2 <sup>0</sup>	0	0	0	0/P*	512
8	256	1	1	0	0	0	0	2 <sup>7</sup>	2 <sup>6</sup>	2 <sup>5</sup>	2 <sup>4</sup>	2 <sup>3</sup>	2 <sup>2</sup>	2 <sup>1</sup>	2 <sup>0</sup>	2 <sup>7</sup>	2 <sup>6</sup>	2 <sup>5</sup>	2 <sup>4</sup>	2 <sup>3</sup>	2 <sup>2</sup>	2 <sup>1</sup>	2 <sup>0</sup>	0	0	0	0	0/P*	256
Обороты		Число оборотов												Количество отсчётов на оборот													Отсчёты		

\* 0/P: 0 — отсутствие бита чётности, P — бит чётности.

тов на оборот. Если для представления числа оборотов требуется меньше чем 12 бит, код дополняется нулями в старших разрядах до требуемой длины 12 бит. В том случае когда не требуется 13 бит для представления количества отсчётов на оборот, код сдвигается влево, так чтобы старший значащий разряд примыкал к центральной оси, а освободившиеся младшие разряды заполняются бло-

кируемыми нулями до требуемой длины кода.

### СОПРЯЖЕНИЕ ПРОТЯЖЁННЫХ ЛИНИЙ СВЯЗИ

Импеданс кабеля связи создаёт задержку при передаче данных, внося фазовое рассогласование между синхронизирующим импульсом и данными. В том случае когда фазовый сдвиг превышает 180°, приём-

ник произведёт ошибочную выборку битов кода координаты. Поэтому максимально допустимая скорость передачи данных является функцией длины кабеля. В табл. 2 с учётом усреднённой задержки в передающем тракте системы, состоящей из датчика углового положения, приёмника и кабеля с тремя витыми парами из многожильных медных проводников сечением 0,23 мм<sup>2</sup> (AWG 24), приведены максимальные значения скорости передачи данных в зависимости от длины кабеля, при которой гарантирован фазовый сдвиг менее 90°.

Таблица 2. Максимальная скорость передачи данных в зависимости от длины кабеля

Длина кабеля, м	Максимальная скорость двоичной передачи, кГц (кбод)
Менее 50	400
Менее 100	300
Менее 200	200
Менее 400	100

Для организации передачи данных от датчика посредством интерфейса SSI необходим кабель с шестью проводниками: для передачи данных требуется только одна витая пара проводников с сечением не менее 0,22 мм<sup>2</sup>; одна витая пара необходима для передачи синхронизирующих импульсов; для обеспечения датчика электропитанием нужны ещё два провода. Формирователь синхронизирующих импульсов, соответствующий требованиям стандарта RS-422/485 (MAX491, SP90, LTC490), допускает скорость передачи данных до 10 Мбит/с. Этой скорости вполне достаточно для большинства применений. Симметричная передача обеспечивает высокую помехоустойчи-

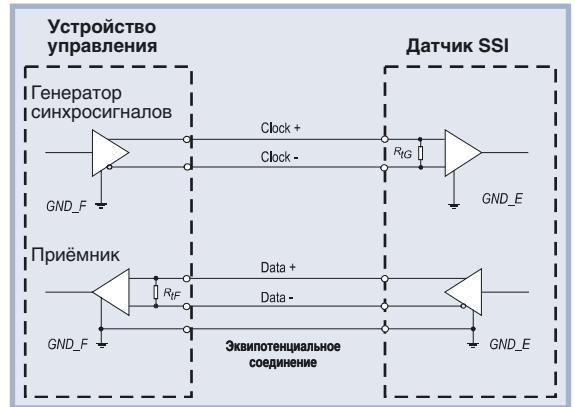
вость, так как перекрёстные помехи на линии не влияют на сигналы. Особенно высокая помехоустойчивость передачи достигается при применении экранированных витых пар проводников (например, кабеля 9842 фирмы Belden).

В качестве приёмного устройства рекомендуется применять любой приёмник, отвечающий спецификациям RS-422/485, и устанавливать согласующий резистор с номинальным значением, равным волновому сопротивлению кабеля. В датчике на входе линии *Clock* устанавливается резистор с сопротивлением 120 Ом (рис. 4). Эквипотенциальность соединения обеспечивается специальным электрическим проводом сечением не менее 10 мм<sup>2</sup>.

Необходимо отметить, что применение интеллектуальных датчиков в современных производственных установках требует наличия правильно выполненной системы заземления и выравнивания потенциалов, соблюдения правил размещения оборудования и подключённых к нему проводников относительно другого оборудования и проводников, способных оказывать опасное воздействие

или вызывать наводки. Только выполнение этих условий гарантирует, что системы, содержащие электронное измерительное оборудование, будут функционировать должным образом.

Помехоустойчивость системы в значительной степени зависит от экранирования. Зачастую проблемы при монтаже возникают именно в этой области. Заземление экрана с одной стороны обеспечивает экранирование только от электрического поля. Это оправданно для оборудования, работающего в НЧ-диапазоне. Для обеспечения ЭМС необходимо применять правила, относящиеся к ВЧ-технике. Основной целью реализации этих правил является шунтирование ВЧ-энергии на землю по цепям с возможно более низким импедансом. Низкий импеданс обеспечивается соединением с металлическими поверхностями большой площади.



Условные обозначения:

$R_{tG}$  — согласующий резистор, установленный на входе датчика;  
 $R_{tF}$  — согласующий резистор, установленный на входе приёмника;  
 $GND_F$  — опорный потенциал аппаратного интерфейса линии данных (отличный от потенциала  $GND$ );  
 $GND_E$  — опорный потенциал гальванически развязанного RS-422 (отличный от потенциала  $GND$ ).

Рис. 4. Функциональная схема системы, состоящей из датчика с SSI-интерфейсом и устройства управления

Для обеспечения нормального функционирования датчика его подключение должно быть выполнено при строгом соблюдении следующих правил:

- электропроводка датчика должна быть размещена на достаточном расстоянии от силовых кабелей, ко-



Рис. 5. Функциональная схема интерфейсного модуля платы APCI-1710

торые являются источниками помех;

- кабели не должны пересекаться, если этого избежать не удастся, они должны пересекаться под прямыми углами;
- заземление обоих концов экрана даёт сравнительно малый эффект, поскольку значительная часть возвратного тока проходит по шине земли;
- если не удастся получить эквипотенциальное соединение посредством низкоомного кабеля, то экран должен быть напрямую заземлён с одной стороны и подключаться к

земле через ёмкость с другой стороны, для того чтобы избежать перегрева экрана, вызванного большим возвратным током;

- если экран или провод эквипотенциального соединения подключается к винтовым зажимам, должна быть обеспечена максимальная площадь контакта с заземлённой поверхностью;
- если для подключения кабеля применяются соединители, они должны иметь металлические корпуса (например, соединитель Sub-D); в этом случае экран подсоединяется непосредственно к корпусу.

## Устройство управления APCI/CPCI-1710

Многофункциональные платы APCI-1710 и CPCI-1710 фирмы Addi-Data могут выполнять функцию управляющего устройства синхронного последовательного интерфейса. Плата APCI-1710 выполнена в стандарте PCI, а плата CPCI-1710 – в стандарте CompactPCI. Платы совместимы программно. Программы ADDIREG и SET1710 обеспечивают применение одного и того же программного обеспечения для плат APCI-1710 и CPCI-1710.

Эти платы в качестве управляющих устройств синхронного последовательного интерфейса находят применение в системах сбора данных о перемещениях, управления координатными перемещениями, измерения деталей с учетом допуска и т.д.

### Основные свойства

- Подключение от 1 до 3 абсолютных датчиков углового положения.
- Синхронизирующая последовательность является общей для трёх датчиков.
- Частота синхронизирующих импульсов задаётся программно.
- Количество передаваемых бит данных задаётся программно, что делает разрешающую способность настраиваемой.

Возможны преобразования в коде Грея или двоичном коде.

- Доступны три дискретных входных канала и один дискретный выходной канал, которые не связаны с обслуживанием SSI и могут быть использованы для реализации дополнительных функций.

На рис. 5 приведена схема перепрограммируемого функционального модуля платы APCI-1710, осуществляющего управление передачей данных через интерфейс SSI. Интерфейсный модуль состоит из следующих элементов:

- трёх независимых 32-разрядных сдвиговых регистров, которые считываются через шину данных;
- генератора синхроимпульсов;
- логических схем управления и функциональных схем.

Поддержка функций SSI и реализация служебных функций обеспечиваются 6 входными и 2 выходными каналами любого из 4 независимых функциональных модулей платы

APCI-1710. Соответствующие сигналы представлены в табл. 3.

Основной тракт передачи данных через интерфейс SSI включает преобразователь кода датчика, кабель связи и входной канал приёмника. Каждое звено, естественно, передаёт сигналы с задержкой. Величина задержки изменяется в соответствии с длиной линии связи. Следовательно, частота тактовых импульсов должна быть адаптирована к определённым параметрам линии.

Общее время задержки ( $T_{gv}$ ) может быть вычислено следующим образом:

$$T_{gv} = T_e + 2 \times T_c + T_r,$$

где

$T_e$  — время задержки в электронной схеме датчика углового положения (макс. 150 нс);

$T_c$  — время задержки в кабеле (зависит от длины кабеля);

$T_r$  — время задержки в приёмнике (макс. 150 нс).

Например, при использовании 200-метрового специального кабеля с сечением проводов  $0,25 \text{ мм}^2$  и погонной задержкой порядка  $6,5 \text{ нс/м}$  общее время задержки ( $T_{ds}$ ) составит:

Таблица 3. Сигналы, используемые для организации интерфейса SSI

Сигналы	Обозначения на соединителе	Полярность	Назначение
CLOCK_x	Ax +/-	Дифференциальный	Управляющий сигнал для датчиков с интерфейсом SSI
DATA 1_x	Bx +/-	Дифференциальный/24 В (опция)	Данные от первого датчика
DATA 2_x	Cx +/-	Дифференциальный/24 В (опция)	Данные от второго датчика
DATA 3_x	Dx +/-	Дифференциальный/24 В (опция)	Данные от третьего датчика
Input 1_x*	Ex +/-	24 В/5 В (опция)	Дискретный входной сигнал
Input 2_x*	Fx +/-	24 В/5 В (опция)	Дискретный входной сигнал
Input 3_x*	Gx +/-	24 В/5 В (опция)	Дискретный входной сигнал
Output_x*	Hx +/-	24 В/5 В ТТЛ (опция)	Дискретный выходной сигнал

x Номер функционального модуля.

\* Служебные сигналы.

$$T_{ds} = 300 + (2 \times 6,5 \times 200) = 2900 \text{ нс}$$

Следовательно, допустимой тактовой частотой для такого кабеля длиной 200 м является 300 кГц.

Кроме этого, необходимо учитывать, что данные передаются синхронно входным управляющим сигналам, поэтому они поступают на приёмник с задержкой, определяемой и рабочим периодом тактовой последовательности:

$$2900 + 0,5 \times 3300 \approx 4500 \text{ нс}$$

Соответствующая скорость передачи данных сопоставима со значением, приведённым в табл. 2 для аналогичного кабеля такой же длины.

### Назначение регистров модуля SSI

Модель модуля SSI плат APCI/CPCI-1710 для программиста составлена из регистров, которые доступны пользователю на уровне команд.

#### Регистр FRQ (Base + 0)

16-разрядный регистр FRQ (базовый адрес + 0) определяет частоту управляющих сигналов (синхроимпульсов).

Регистр предназначен только для записи. Входная частота равна частоте шины PCI (определяется из руководства пользователя конкретного ПК).

Таблица 4. Возможные структуры кодов данных, передаваемых по SSI от многооборотного датчика

4096	12	M12	M11	M10	M9	M8	M7	M6	M5	M4	M3	M2	M1	S13	S12	S11	S10	S9	S8	S7	S6	S5	S4	S3	S2	S1	8192	13
2048	11	0	M11	M10	M9	M8	M7	M6	M5	M4	M3	M2	M1	S12	S11	S10	S9	S8	S7	S6	S5	S4	S3	S2	S1	0	4096	12
1024	10	0	0	M10	M9	M8	M7	M6	M5	M4	M3	M2	M1	S11	S10	S9	S8	S7	S6	S5	S4	S3	S2	S1	0	0	2048	11
512	9	0	0	0	M9	M8	M7	M6	M5	M4	M3	M2	M1	S10	S9	S8	S7	S6	S5	S4	S3	S2	S1	0	0	0	1024	10
256	8	0	0	0	0	M8	M7	M6	M5	M4	M3	M2	M1	S9	S8	S7	S6	S5	S4	S3	S2	S1	0	0	0	0	512	9
128	7	0	0	0	0	0	M7	M6	M5	M4	M3	M2	M1	S8	S7	S6	S5	S4	S3	S2	S1	0	0	0	0	0	256	8
64	6	0	0	0	0	0	0	M6	M5	M4	M3	M2	M1	S7	S6	S5	S4	S3	S2	S1	0	0	0	0	0	0	128	7
32	5	0	0	0	0	0	0	0	M5	M4	M3	M2	M1	S6	S5	S4	S3	S2	S1	0	0	0	0	0	0	0	64	6
16	4	0	0	0	0	0	0	0	0	M4	M3	M2	M1	S5	S4	S3	S2	S1	0	0	0	0	0	0	0	0	32	5
8	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	M3	M2	M1	S4	S3	S2	S1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	4
4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	M2	M1	S3	S2	S1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	3
2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	M1	S2	S1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	2
Обороты	Количество битов	Число оборотов											Количество отсчётов на оборот											Отсчёты	Количество битов			

Если регистр содержит значение 0, частота делится на 2. Если регистр содержит значение 50, частота делится на 100.

Делитель частоты может принимать значения от 2 до 13070 с шагом 2, а сама частота не должна быть больше 1 МГц.

**Регистр COUNTS (Base + 4)**

8-разрядный регистр COUNTS (базовый адрес + 4) определяет число разрядов для SSI. Этот регистр предназначен только для записи.

Стандартный 25-разрядный многооборотный абсолютный датчик углового положения использует 26 управляющих импульсов. Если регистр содержит значение 25, формируется 26 управляющих импульсов. В том случае когда в регистр записано значение 32, формируется 33 импульса.

Рассмотрим пример передачи данных от 18-разрядного датчика с 8 разрядами для кода числа оборотов (до 256) и 10 разрядами для кода количества отсчётов на один оборот (до 1024). Протокол передачи реализуется по стандартной процедуре для 25-разрядного слова данных (12 разрядов — число оборотов, 13 разрядов — количество отсчётов на оборот). Так как всегда передача начинается с 12-го бита кода, определяющего число оборотов, а этот код представлен в примере 8 разрядами, то первыми будут переданы четыре логических «0», затем 8 разрядов кода числа оборотов (табл. 4). Следующими являются разряды кода количества отсчётов (от S10 до S1), причём пустые 3 разряда также передаются логическими «0».

**Регистр START (Base + 8)**

При записи в регистр START (базовый адрес + 8) начинается рабочий цикл последовательной передачи данных.

**Регистр CONTROL (Base + 12)**

8-разрядный регистр CONTROL (базовый адрес + 12) позволяет преобразовывать данные, представленные в коде Грея, в двоичный код. Регистр предназначен только для записи.

Разрешение на преобразование выдаётся посредством установки в определённое состояние трёх битов, каждый из которых соответ-

ствует одному из трёх управляемых функциональным модулем интерфейсов SSI. Если три бита установлены в «0», то после установки системы в исходное состояние преобразование кода не производится. Если один из трёх битов установлен в «1», то в соответствующем интерфейсе SSI код Грея преобразуется в двоичный код.

**Регистр STATUS (Base + 0)**

Информация о текущих значениях передаваемых данных читается в регистре состояния STATUS (базовый адрес + 0). Состояние дискретных входных каналов доступно по команде чтения (табл. 5).

**Регистр SHIFT**

Три 32-разрядных регистра SHIFT доступны для сохранения данных SSI. Операция чтения производится в 32-разрядном формате. Данные из 32-разрядных регистров затем фильтруются.

**Регистр OUTPUT**

В случае когда бит D0 установлен, выходной канал находится в рабочем состоянии. Когда бит D0 сброшен (состояние после перезапуска), выходной канал заблокирован.

**Регистр IDENTITY (Base + 60)**

Чтение содержимого регистра IDENTITY (базовый адрес + 60) вызывает функцию, а также редакцию этой функции в формате ASCII. Например, (Base + 60) «S» «I» «1» «0» означает «Synchronous Serial Interface Rev 1.0».

Таблица 5. Назначение разрядов регистра состояния

BIT D0	0	Передача завершена; данные готовы для обработки в регистре SHIFT
	1	Передача
BIT D1	0	На входе данных SSI — низкий уровень
	1	На входе данных SSI — высокий уровень
BIT D2	0	На входе данных SSI — низкий уровень
	1	На входе данных SSI — высокий уровень
BIT D3	0	На входе данных SSI — низкий уровень
	1	На входе данных SSI — высокий уровень
BIT D4	0	На входе 1 — высокий уровень
	1	На входе 1 — низкий уровень
BIT D5	0	На входе 2 — высокий уровень
	1	На входе 2 — низкий уровень
BIT D6	0	На входе 3 — высокий уровень
	1	На входе 3 — низкий уровень

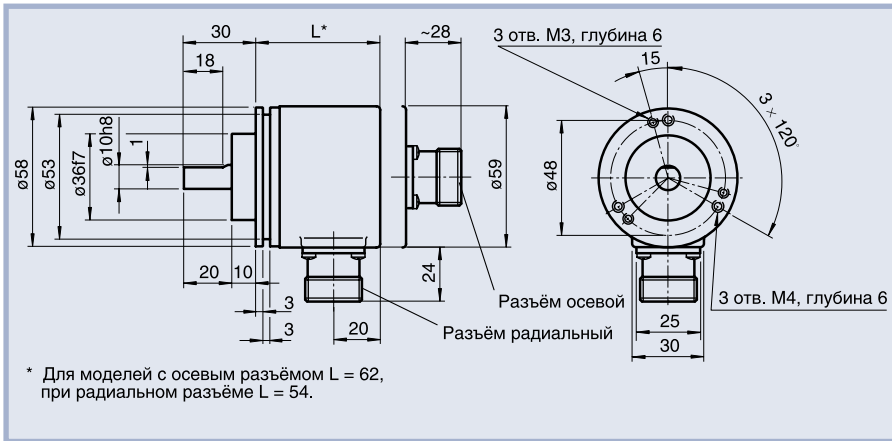


Рис. 6. Абсолютный датчик положения AVM58 со сплошным валом и захватным фланцем

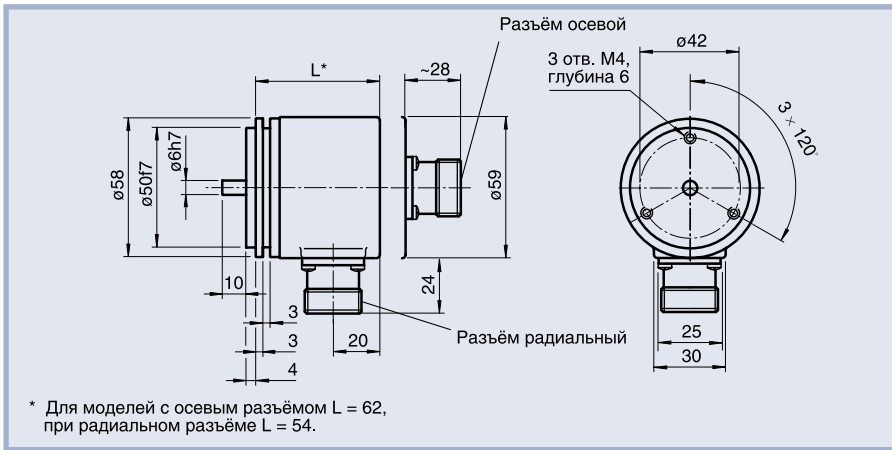


Рис. 7. Абсолютный датчик положения AVM58 со сплошным валом и сервофланцем

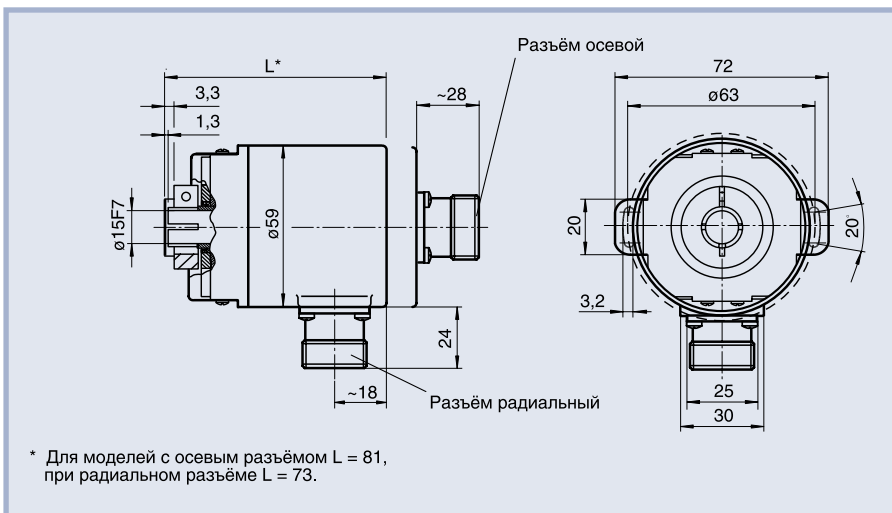


Рис. 8. Абсолютный датчик положения ASM58 с полым валом

### Взаимодействие датчика и модуля SSI

Совокупность параметров передачи данных датчиками с интерфейсом SSI определяет число управляющих импульсов (синхросигналов), необходимых для организации пересылки информации о перемещениях или текущих координатах.

Например, 25-разрядное разрешение датчика требует применения 26 управляющих сигналов (*Clock*), следовательно, в регистр COUNTS должно быть записано значение 25.

Частота управляющих сигналов назначается, исходя из следующих условий:

- минимальное значение частоты управляющих сигналов определяется

временем восстановления одновибратора (например, для времени восстановления около 20 мкс минимальная частота синхросигналов равна 50 кГц);

- максимальная частота определяется длиной используемого кабеля связи.

Коэффициент деления базовой частоты PCI для получения необходимого значения частоты управляющих сигналов записывается в регистр FRQ.

Взаимодействие датчика и модуля SSI включает следующие основные этапы:

- новые показания датчика запрашиваются через имитацию записи в регистр START;
- завершение передачи данных определяется состоянием бита D0 регистра STATUS;
- значения принятых данных считываются из регистра SHIFT.

Подробная информация об особенностях применения плат APC1/CP1-1710 и примеры программ приведены в [3]. Соответствующее программное обеспечение для операционных систем Windows 95/98/NT/2000 можно найти на <ftp://www.prosoft.ru/pub/Hardware/addidata/Drivers/Apci1710/Win-XP-2000-NT-98/>

### Многообразие конструктивных исполнений датчиков

В настоящее время номенклатура абсолютных датчиков углового положения с интерфейсом SSI фирмы Pepperl+Fuchs включает однооборотные и многооборотные преобразователи с различными типами конструктивного исполнения валов: сплошной (рис. 6 и 7) и полый (рис. 8).

Разрешающая способность многооборотных датчиков составляет 28 разрядов (более чем 268 млн. значений регистрируемых текущих координат). Новые модели датчиков с разрешением 30 разрядов обеспечивают регистрацию более чем 1 млрд. значений координат положения [4].

Благодаря модернизированным методам сканирования реализованы новые модели однооборотных поворотных абсолютных датчиков положения с разрешением 16 разрядов, что соответствует 32688 значениям регистрируемых координат за один оборот. Напомню, что ещё недавно



Таблица 6. Основные характеристики абсолютных датчиков углового положения с интерфейсом SSI

Код серии	AVS58	AVS58-H	AVM58	AVM58-H	ASS58	ASS58-H	ASM58	ASM58-H
Напряжение питания, В	10...30	10...30	10...30	10...30	10...30	10...30	10...30	10...30
Точность	±2 МЗР для 16 бит, ±1 МЗР для 13 бит, ±0,5 МЗР для 12 бит							
Тип выходного кода	Код Грея, двоичный	Код Грея, двоичный	Код Грея, двоичный	Код Грея, двоичный	Код Грея, двоичный	Код Грея, двоичный	Код Грея, двоичный	Код Грея, двоичный
Направление счёта	Убывающее при вращении по часовой стрелке							
Разрешающая способность	до 16 бит	до 16 бит	до 30 бит	до 30 бит	до 16 бит	до 16 бит	до 30 бит	до 30 бит
Скорость передачи данных, Мбит/с	0,1...1,5	0,1...1,5	0,1...1,5	0,1...1,5	0,1...1,5	0,1...1,5	0,1...1,5	0,1...1,5
Вид выходного сигнала	RS-422	RS-422	RS-422	RS-422	RS-422	RS-422	RS-422	RS-422
Переключения направления счёта	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да
Сигнал предустановки выходного кода в нулевое состояние, PRESET1	Да	—	Да	—	Да	—	Да	—
Максимальная скорость вращения вала, об./мин	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000
Момент трогания вала, Н·см <sup>2</sup>	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Момент инерции вала, г·см <sup>2</sup>	50	50	50	50	50	50	50	50
Смещение в результате нагрузки на вал внешнего устройства (для моделей с заглублённым полым валом)	—	—	—	—	Угловое смещение вала: ±0,9° Осевое смещение вала: ±0,3 мм (статическое) ±0,1 мм (динамическое) Радиальное смещение вала: ±0,5 мм (статическое) ±0,2 мм (динамическое)			
Допустимая нагрузка на вал (осевая/радиальная), Н	40/110	40/110	40/110	40/110	—	—	—	—
Степень защиты	IP65	IP65	IP65	IP65	IP65	IP65	IP65	IP65
Диапазон рабочих температур, °С	-40...+85	-40...+85	-40...+85	-40...+85	-40...+85	-40...+85	-40...+85	-40...+85
Диапазон температур хранения, °С	-40...+85	-40...+85	-40...+85	-40...+85	-40...+85	-40...+85	-40...+85	-40...+85
Вибростойкость	10g, 10...2000 Гц	10g, 10...2000 Гц	10g, 10...2000 Гц	10g, 10...2000 Гц	10g, 10...2000 Гц	10g, 10...2000 Гц	10g, 10...2000 Гц	10g, 10...2000 Гц
Ударопрочность	100g, 3мс	100g, 3мс	100g, 3мс	100g, 3мс	100g, 3мс	100g, 3мс	100g, 3мс	100g, 3мс
Материал корпуса	Алюминий/нержавеющая сталь	Алюминий/нержавеющая сталь	Алюминий/нержавеющая сталь	Алюминий/нержавеющая сталь	Алюминий/нержавеющая сталь	Алюминий/нержавеющая сталь	Алюминий/нержавеющая сталь	Алюминий/нержавеющая сталь
Материал фланца	Алюминий/нержавеющая сталь	Алюминий/нержавеющая сталь	Алюминий/нержавеющая сталь	Алюминий/нержавеющая сталь	Алюминий/нержавеющая сталь	Алюминий/нержавеющая сталь	Алюминий/нержавеющая сталь	Алюминий/нержавеющая сталь
Материал вала	Нержавеющая сталь	Нержавеющая сталь	Нержавеющая сталь	Нержавеющая сталь	Нержавеющая сталь	Нержавеющая сталь	Нержавеющая сталь	Нержавеющая сталь
Масса, кг	0,46/0,8	0,46/0,8	0,46/0,8	0,46/0,8	0,46/0,8	0,46/0,8	0,46/0,8	0,46/0,8
Конструктивный ресурс, обороты	Не менее 10 <sup>12</sup>	Не менее 10 <sup>12</sup>	Не менее 10 <sup>12</sup>	Не менее 10 <sup>12</sup>	Не менее 10 <sup>12</sup>	Не менее 10 <sup>12</sup>	Не менее 10 <sup>12</sup>	Не менее 10 <sup>12</sup>

пользователи вынуждены были довольствоваться датчиками с 13-рядным разрешением. Высокое разрешение достигнуто в основном благодаря применению современных высокоинтегрированных оптических специализированных схем (Opto-ASIC). Ключевыми моментами в технологии Opto-ASIC являются температурная компенсация, управление мощностью передачи света, текущий контроль кода и разрешение проблемы неоднозначности отсчётов. Вместе с высококачественной механикой и прочным пластиковым кодирующим диском это

обеспечивает получение абсолютным датчиком угловых положений достоверных, точных и стабильных данных о положении контролируемого объекта.

В том случае если необходимо зарегистрировать положение объекта не только в пределах одного оборота, применяется оптоэлектронная система сканирования и механическая передача. Естественно, механическая конструкция передачи была модернизирована, так как возник вопрос, каким образом осуществлять регистрацию числа оборотов: механически или в буферном запоминающем уст-

ройстве с аккумуляторной поддержкой. После интенсивных исследований, в ходе которых были изучены все положительные и отрицательные свойства соответствующих технологий, специалисты Pepperl+Fuchs решили продолжать работать с испытанной механической передачей и оптимизировали её габаритные размеры таким образом, что сейчас можно работать с разрешением до 14 разрядов, соответствующим 16384 оборотам.

Важные дополнительные свойства, которые упрощают эксплуатацию датчиков, были сохранены в новых



Рис. 9. Абсолютные датчики углового положения с интерфейсом SSI

моделях абсолютных датчиков углового положения с интерфейсом SSI. Подробнее рассмотрим одно из интересных свойств таких датчиков. Под воздействием сигнала *Preset function* выходной код приобретает нулевое значение, причём для каждого направления счёта положение вала, соответствующее нулевому коду на выходе, своё. В результате этого, если мы устанавливаем направление счёта, устанавливаем нулевое состояние выхода сигналом PRESET1 и меняем направление счёта, то наблюдаем ненулевое значение выходного кода. Дело в том, что сигнал PRESET1 вызывает сброс в ноль значения «текущей шкалы» и изменение шкалы, соответствующей счёту в противоположном направлении, на величину, равную значению «текущей шкалы» до воздействия сигнала PRESET1.

Это свойство датчика экономит затраты по программированию устройства управления, так как исключает необходимость вычислять значение постоянного смещения и затем учитывать его для предотвращения возможных выходов за пределы допустимых значений регистрируемых перемещений.

Датчики также имеют функцию изменения направления счёта выходного кода. В случае когда на его входе V/R присутствует уровень логической «1» (ТТЛ), значение выходного кода уменьшается при вращении вала по часовой стрелке. Когда на входе V/R установлен уровень логического «0», значение кода увеличивается при вращении вала по часовой стрелке. При вращении вала против часовой стрелки — аналогично. Данная функция предоставляет возможность назначать изменения выходно-

го кода в соответствии с направлением вращения вала.

Как правило, датчики с интерфейсом SSI представляют координаты положения контролируемого объекта в коде Грея. Однако при выборе датчика заказчик может остановиться на модели, которая формирует данные о положении объекта в двоичном коде.

В Европе в качестве стандартного принят размер диаметра корпуса датчика углового положения, равный 58 мм. Абсолютные датчики углового положения с интерфейсом SSI фирмы Pepperl+Fuchs GmbH тоже имеют диаметр 58 мм, а широкий ряд моделей с различными конструктивными исполнениями валов предоставляет возможность заказчику адаптировать датчик к требованиям конкретного применения. При этом предлагаемые фирмой размеры сплошных валов (6, 10, 12 мм) являются стандартными в промышленной автоматизации.

Применение высококачественных комплектующих, таких как, например, прецизионные подшипники, гарантирует ресурс этих датчиков не менее  $10^{12}$  оборотов при полной нагрузке и скоростях вращения вала до 12000 оборотов/мин.

Основные технические и эксплуатационные характеристики абсолютных датчиков углового положения с интерфейсом SSI представлены в табл. 6. Датчики серии AVM58-H, AVS58-H, ASS58-H, ASM58-H выполнены на интегральных микросхемах «жёсткой» логики. Устройства же без суффикса «-H» в обозначении выполнены на однокристалльных микроконтроллерах, что позволило расширить их функциональные возможности, в частности, ввести функцию измене-

ния направления счёта выходного кода.

Необходимо отметить, что специалисты фирмы Pepperl+Fuchs GmbH уделяют особое внимание конструкционным параметрам. Датчики с интерфейсом SSI сохранили свойственную этим изделиям компактность (рис. 9) и могут без проблем заменить устройства, приобретённые у этой фирмы ранее. Новые изделия сконструированы таким образом, чтобы быть совместимыми во всех аспектах со своими моделями-предшественниками.

### Подводя итоги

За последнее время номенклатура изделий фирмы Pepperl+Fuchs GmbH органично пополнилась новым семейством датчиков углового положения, использующих интерфейс SSI. Гибкость, достигнутая благодаря модульному принципу построения конструкций, надёжный, удобный и экономичный интерфейс передачи данных, наличие доступных средств управления и прикладного программного обеспечения являются более чем достаточными условиями для широкого применения данных устройств. Новые свойства описанных датчиков помогают решать задачи автоматизации более просто, точно и с меньшими затратами. ●

### ЛИТЕРАТУРА

1. Жданкин В.К. Поворотные шифраторы: основные типы и некоторые особенности применения// Современные технологии автоматизации. — 2001. — № 2.
2. Жданкин В.К. Поворотные шифраторы фирмы Pepperl+Fuchs// Современные технологии автоматизации. — 2001. — № 3.
3. ADDICOUNT APCI/CPCI-1710, Synchronous Serial Interface, Technical documentation, second edition. — Ottersweier: ADDI-DATA GmbH Mess und Steuerungstechnik, 1999.
4. Thorsten Gippert, Juergen Seitz. Leading from the front with SSI absolute value shaft encoders. — Mannheim: Pepperl+Fuchs Drehgeber GmbH, 2003.

**В.К.Жданкин — сотрудник  
фирмы ПРОСОФТ  
119313 Москва, а/я 81  
Телефон: (095) 234-0636  
Факс: (095) 234-0640  
E-mail: victor@prosoft.ru**