

Выражение (15) определяет принципы построения технических средств инструментального контроля достоверности ЦПП в ходе их метрологической аттестации.

Список использованных источников

1. Гречишников В.М., Конюхов Н.Е. Оптоэлектронные цифровые датчики перемещений со встроенными волоконно-оптическими линиями связи. [Текст]: монография — М.: Энергоатомиздат, Библиотека по автоматике. Вып.677.-1992.-160 с.
2. Домрачев В.Г., Мейко Б.С. Цифровые преобразователи угла: Принципы построения, теория точности, методы контроля. — М.: Энергоатомиздат, 1984. -380 с.
3. Гречишников В.М., Гречишников С.В. Обобщенная математическая модель цифровых преобразователей перемещений и методы ее анализа [Текст] / Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Физико-математические науки». - Самара, СамГУ, вып.6.- С.11-119.
4. Гречишников В.М., Гречишников С.В., Борисов О.Ю. Математическое моделирование статистических характеристик инструментальной погрешности оптоэлектронных цифровых преобразователей угла выборочным методом [Рукопись]. - СГАУ.-2010.

ДВУХОТСЧЕТНЫЙ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ «УГОЛ-КОД» С МИКРОПРОЦЕССОРНЫМ УСТРОЙСТВОМ СОГЛАСОВАНИЯ ОТСЧЕТОВ

В.М.Гречишников, А.А.Юдин, О.Ю. Борисов

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Рассматриваемый в данной статье волоконно-оптический преобразователь угол-код (ВОЦПП) предназначен для использования в качестве датчиков углового положения объектов и исполнительных механизмов в системах управления, применяемых на объектах добычи, транспортировки и переработки горючих ископаемых (газ, нефть, уголь), производства и утилизации горючих и взрывоопасных неорганических веществ, в робототехнических комплексах, используемых для выполнения технологических манипуляций в зонах радиоактивного загрязнения, системах управления магнито-импульсной обработкой материалов, на предприятиях силовой электроэнергетики, авиационной промышленности, медицины и других отраслях промышленности, на которых вопросы обеспечения электромагнитной совместимости, взрыво-, пожаро-, экологической и информационной безопасности имеют первостепенное значение.

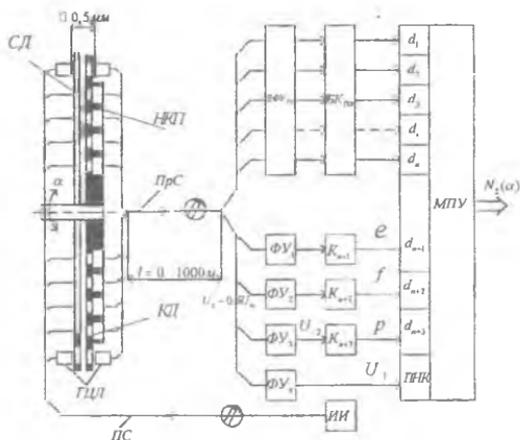


Рис. 1. Структурная схема преобразователя

Преобразователь содержит источник излучения ИИ, оптически связанный со жгутом передающих волоконных световодов ПС, выходные торцы которых через отверстия в считывающем диске СД расположены напротив соответствующих точек считывания информации с кодового диска КД (рис.1). [1] Кодовый диск содержит семь дорожек грубого отсчета, выполненных в соответствии с маской инверсного кода Грея и одну дорожку точного отсчета, расположенную на периферии кодового диска (рис.2). В инверсном коде Грея логическому "0" соответствуют прозрачные участки, а логической "1" соответствуют непрозрачные участки кодовых дорожек. Все непрозрачные участки кодовых дорожек соединены непосредственно или друг через друга с внутренней и внешней кольцевыми перемычками. Это позволяет сформировать геометрически замкнутый рисунок без межрядных перемычек и за счет этого уменьшить диаметр кодового диска. Кодовый диск выполнен методом двойной фотолитографии из фольги толщиной 50 мкм. Период младшей кодовой дорожки равен $t = 2\pi/2^6$. Для придания конструкции необходимой жесткости и плоскопараллельности кодовый диск по плоскости соединен с несущей кодовой подложкой НКП (рис. 1). НКП представляет собой монолитную конструкцию, состоящую из двух концентрических кольцевых перемычек, между которыми расположена кодовая площадка, представляющая собой, например, шесть концентрических кодовых дорожек, выполненных также, как и основной кодовый диск, в соответствии с инверсным кодом Грея.

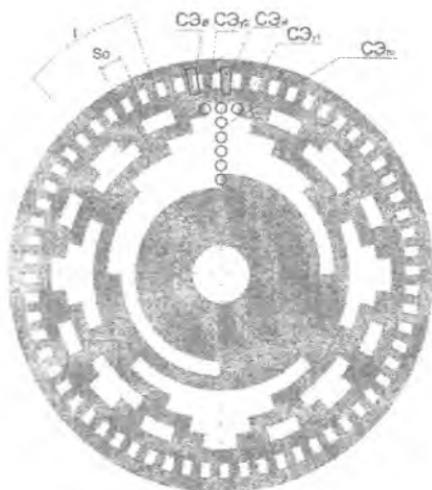


Рис. 2. Топология кодового диска со считывающими элементами ГО и ТО

Такое конструктивное решение обеспечивает при соответствующей толщине НКП необходимую механическую жесткость и прочность кодового пакета. При этом отклонение от плоскостности НКП при соответствующих методах обработки и толщине заготовки может быть сравнимо со стеклянными дисками. Угловые размеры перемычек в НКП выполнены с гарантированным отрицательным допуском относительно размеров соответствующих элементов КД. Это позволяет с высокой точностью ($\pm 1-2$ мкм) формировать границы смены кода. С помощью соответствующих световодов $СЭ_{y1}$ и $СЭ_{y2}$ формируются также два управляющих сигнала, периоды которых равны периоду сигнала младшего разряда кода Грея t , но сдвинуты по пространственной фазе относительно линии считывания в младшем разряде на $\pm t/4$ (сигналы e и f на рис.4).

Дорожка точного отсчета представляет собой равновеликие прозрачные и непрозрачные участки, нанесенные с угловым шагом $s_0 = t/4$. Угловые размеры прозрачных и непрозрачных участков равны между собой и составляют $0,5s_0$.

Считывающий диск СД (рис.1) выполнен по аналогичной технологии. Он содержит отверстия, расположенные, напротив точек считывания информации с кодового диска и обеспечивает оптическую связь между передающими и приемными световодами. СД неподвижно укреплен на корпусной детали преобразователя.

Жгут приемных световодов $ПР_c$ передает промодулированные оптические сигналы в блок фотоусилителей грубого отсчета, осуществляющих преобразование фототока в пропорциональные им сигналы напряжения. В результате сравнения выходных сигналов фотоусилителей с пороговым уровнем на выходе компараторов формируется электрический инверсный код Грея, который передается на цифровые входы d_1, \dots, d_7 микропроцессорного устройства (МПУ).

В канале точного отсчета с помощью градиентных цилиндрических линз (ГЦЛ), дорожки точного отсчета и отверстий $CЭ_H$ и $CЭ_B$ в СД формируются два периодических оптических сигнала треугольной формы: - основной (информационный) F_1 и вспомогательный F_2 сигналы, сдвинутые по пространственной фазе на $S_0/4$. После преобразования оптических сигналов в фотоусилителях $ФУ_3$ и $ФУ_4$ формируются два электрических сигнала U_1 и U_2 (рис.3). Информационный сигнал U_1 поступает на аналоговый вход МПУ, который одновременно является входом встроенного ПНК (рис.1). При изменении сигнала U_1 от нуля до максимума на выходе ПНК происходит увеличение значений выходного кода, а при изменении сигнала от максимума до нуля - уменьшение значений выходного кода (рис. 1, сигнал $N(U_1)$). При этом максимальному значению сигнала U_m соответствует максимальный код ПНК, соответствующий половине шага опорной шкалы S_0 . Таким образом, однозначное определение перемещения с помощью ПНК происходит только на первой половине периода S_0 . Для получения однозначного отсчета на всем периоде S_0 используется вспомогательный сигнал U_2 со второго считывающего элемента. Этот сигнал поступает на фотоусилитель $ФУ_3$, в котором происходит смещение сигнала относительно нулевой линии на половину его амплитуды $U_2 - 0,5U_m$. Компаратор K_3 формирует из него сигнал прямоугольной формы p , значения которого (0 или 1) изменяются в моменты перехода входного сигнала через нуль (рис.3). Причем изменение значений этого сигнала происходит в те моменты, когда информационный сигнал имеет максимальное или минимальное значение.

В соответствии с алгоритмом формирования ТО, при изменении кода с ПНК от минимального до максимального сигнал ($p = 0, N(p) = 0$) пропускается на выход без изменения, а при переходе через неоднозначность, т.е. через точку $s_0/2$ (сигнал $p = 1, N(p) = 1$), выполняется операция вычитания текущего кода ПНК из удвоенного значения кода амплитуды информационного сигнала $2N_{ТО\ max}$, хранящегося в ПЗУ МПУ. В результате вычитания при изменении перемещения от нуля до s_0 происходит возрастание кода от нуля до максимального значения $2N_{ТО\ max}$, что обеспечивает однозначное определение пространственного положения входного вала в пределах шага s_0 дорожки ТО (рис.3, сигнал $N_{ТО}(\alpha)$).

Алгоритм устранения неоднозначности преобразования в точном отсчете, реализуемый в МПУ, можно представить в виде логического уравнения:

$$N_{TO} = \bar{p} \cdot N_{TO}(\alpha) + p \cdot (2N_{TO \max} - N_{TO}(\alpha)), \quad (1)$$

$$p = \begin{cases} 0 & \text{при } U \leq 0, \\ 1 & \text{при } U > 0. \end{cases} \quad (2)$$

Максимальное число разрядов точного отсчета определяется позиционной точностью и стабильностью основного и вспомогательного сигналов, нелинейностью информационного сигнала и разрядностью ПНК и может составлять 6-10 бит, а суммарная информационная емкость может достигать 14-16 бит.

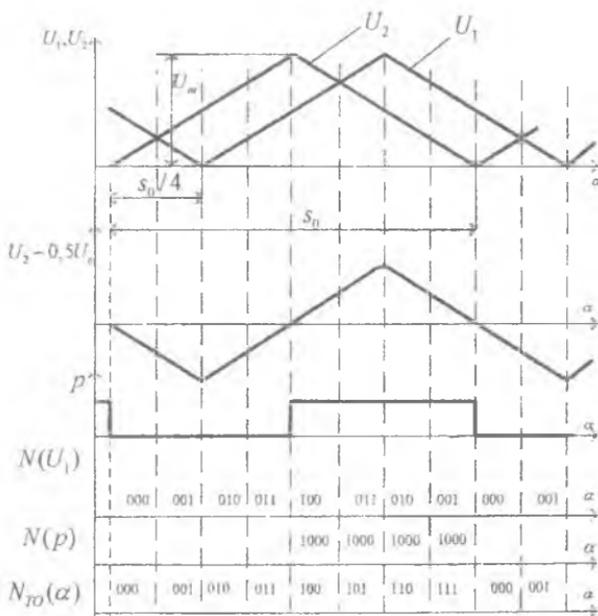


Рис. 3. Позиционные диаграммы формирования точного отсчета

Устранение ошибок рассогласования грубого и точного отсчетов, возникающих в результате влияния инструментальных погрешностей, осуществляется в микропроцессорном устройстве. При этом используются следующие логические сигналы, показанные на рис. 4:

- $(n-1)$ -й разряд ТО- сигнал a ;
- n -й (старший) разряд ТО- сигнал b ;
- сигнал $c = a \oplus b$;

- младший разряд кода Грея (сигнал d);
- управляющий сигнал e , отстающий от сигнала d на $\pi/4$;
- управляющий сигнал f , опережающий сигнал d на $\pi/4$;
- сигнал $g = e \oplus f$;
- младший разряд натурального двоичного кода ГО (сигнал h);
- y_1 – сигнал коррекции путем прибавления единицы к коду ГО;
- y_2 – сигнал коррекции путем вычитания единицы из кода ГО.

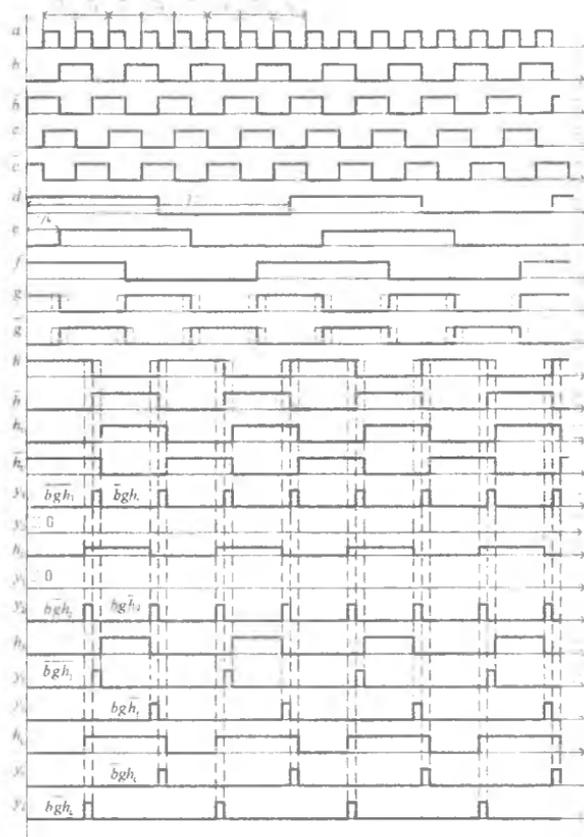


Рис. 4. Позиционные диаграммы работы устройства согласования отсчетов

Сигналы e и f формируются с помощью специальных отверстий в СД фотоусилителей $\PhiУ_1$ и $\PhiУ_2$ и компараторов K_{n+1} и K_{n+2} .

В зонах α сигнал $c = 1$, а моменты переключения сигнала b лежат вне зон переключения сигнала h . В этом случае коды ГО и ТО выдаются согласованно. При

этом в зонах β_1, β_2 (сигнал $c=0$) возможны четыре основных варианта рассогласования ГО и ТО:

1- моменты перехода (младший разряда ГО) из «0» в «1» и из «1» в «0» отстают от моментов перехода старшего разряда ТО из «1» в «0» (сигнал b);

2- моменты перехода сигнала h_2 из «0» в «1» и из «1» в «0» опережают моменты перехода из «1» в «0»;

3- моменты перехода сигнала h_3 из «0» в «1» отстают от моментов перехода сигнала b из «1» в «0», а переходы из «1» в «0» опережают моменты перехода сигнала b из «1» в «0»;

4- моменты перехода сигнала h_4 из «0» в «1» опережают моменты перехода сигнала b из «1» в «0», а переходы из «1» в «0» отстают от моментов перехода сигнала b из «1» в «0».

Все остальные комбинации несогласованностей являются частными случаями отмеченных вариантов. При постоянном отстаивании моментов перехода старшего ТО в зонах β_1 и β_2 должен формироваться управляющий сигнал y_1 , обеспечивающий прибавление недостающей единицы в разрядную сетку ГО. Этот сигнал формируется из вспомогательных сигналов b, g, \bar{g}, h_1 и \bar{h}_1 по алгоритму: в зоне β_1 : $y_1 = \overline{bgh}$, а в зоне β_2 : $y_1 = \overline{bgh}$. Таким образом, общий управляющий сигнал y_1 , который обеспечивает при сигналах $c=0$ и $y_2 = 0$ прибавление недостающей единицы к коду ГО, определяется логическими уравнениями

$$\begin{aligned} y_1 &= \overline{bgh_1} + \overline{bgh_1} \\ y_2 &= 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Сигнал управления y_2 при этом не формируется и равен «0». При полном опережении моментов перехода младшего разряда ГО из «0» в «1» и из «1» в «0» относительно моментов перехода старшего разряда ТО из «1» в «0» должен происходить процесс вычитания "лишней" единицы из кода ГО. Этим процессом управляет сигнал

$$y_2, \text{ который формируется по алгоритму: в зоне } \beta_1: y_2 = \overline{bgh_2}, \text{ а в зоне } \beta_2: y_2 = \overline{bgh_2}.$$

Общий управляющий сигнал y_2 определяется выражениями

$$\begin{aligned} y_2 &= \overline{bgh_2} + \overline{bgh_2}, \\ y_1 &= 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Сигнал управления Y_1 при этом не формируется и равен «0». Кроме того, во всех случаях должно выполняться условие:

$$y_1 \cdot y_2 \neq 1. \quad (5)$$

Если момент перехода сигнала h_3 из «0» в «1» отстает от момента перехода сигнала b из «1» в «0», а момент перехода сигнала h_3 из «1» в «0» опережает моменты перехода сигнала b из «1» в «0», то должны формироваться управляющие сигналы y_1 и y_2 , обеспечивающие в зоне β_1 – вычитание единицы, а в зоне β_2 – суммирование единицы с кодом ГО. Таким образом, при сигнале управления $C=0$ в зоне β_1 должен формироваться сигнал $y_2 = b\overline{g}h_3$, а в зоне β_2 – сигнал $y_1 = \overline{b}gh_3$. При этом общее выражение для управляющих сигналов принимает вид

$$\begin{cases} y_1 = \overline{b}gh_3, \\ y_2 = b\overline{g}h_3. \end{cases} \quad (6)$$

Если момент перехода h_4 из «0» в «1» происходит раньше перехода сигнала b из «1» в «0», а момент перехода сигнала h_4 из «1» в «0» отстает от момента перехода сигнала b из «1» в «0» должен формироваться управляющий сигнал, обеспечивающий в зоне β_1 прибавление единицы к коду ГО, а в зоне β_2 вычитание единицы из кода ГО.

При сигнале управления $C=0$ в зоне β_1 формируется сигнал $y_1 = \overline{b}gh_4$, который обеспечивает прибавление единицы к коду ГО, а в зоне β_2 формируется сигнал $y_2 = \overline{b}gh_4$, обеспечивающий вычитание единицы из кода ГО. Общее выражение управляющего сигнала в этом случае принимает вид

$$\begin{cases} y_1 = \overline{b}gh_4, \\ y_2 = \overline{b}gh_4. \end{cases} \quad (7)$$

Сигналы $y_1 = 1$ и $y_2 = 1$ существуют только при наличии рассогласования между ГО и ГО, а при любых других сочетаниях сигналов $h, \overline{h}, b, \overline{b}$ и g, \overline{g} сигналы $y_1 = 0$ и $y_2 = 0$. После проведения согласования сигналы y_1 и y_2 также становятся равными "0" и на выход преобразователя передается непосредственно код ГО.

Анализ выражений (6) и (7) показывает, что они являются частными случаями выражений (3), (5) и (4), которые описывают все возможные случаи согласования отсчетов. С учетом (3)-(7) обобщенную математическую модель функционирования двухотчетного ВОЦПП представим в виде:

$$N_z = c(N_{ГО} + N_{\overline{ГО}}) + c[(N_{ГО} + 1)y_1 + (N_{\overline{ГО}} - 1)y_2 + N_{ГО}], \quad (8)$$

$$y_1 \cdot y_2 \neq 1.$$

Выходные коды каналов ГО и ТО определяются согласно [2] выражением

$$N = \sum_0^{n-1} a_i(\alpha) 2^i,$$

где $a_i(\alpha)$ - значения разрядных цифр кодов ГО и ТО, определяемые с помощью частных математических моделей ВОЦП, отображающих энерго-информационные процессы в их аналоговых, аналого-цифровых и цифровых функциональных элементах

Общий алгоритм согласования отсчетов, реализуемый в микропроцессорном устройстве с использованием модели (8) представлен на рис.5.

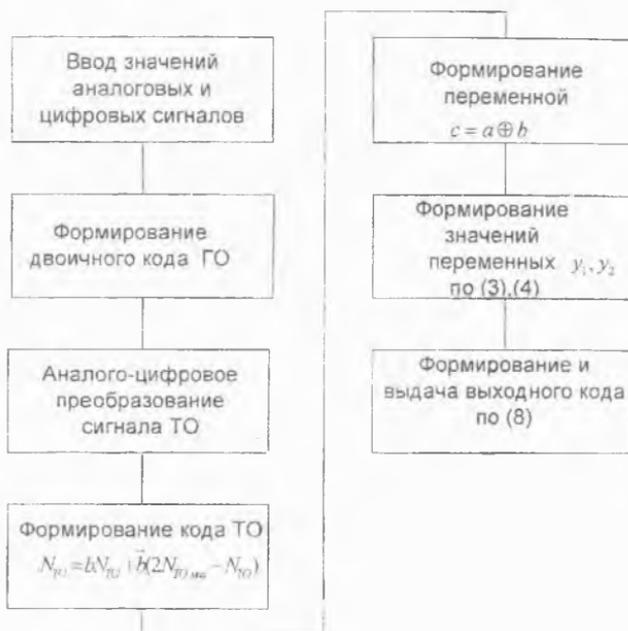


Рис. 5. Алгоритм работы микропроцессорного устройства

Достоинства рассмотренного преобразователя определяются следующими обстоятельствами:

- применение волоконно - оптического интерфейса позволяет разнести в пространстве оптико-механический и электронный блоки на расстояние до 500м и обеспечить абсолютную искробезопасность чувствительного элемента и помехозащищенность канала передачи информации, а также комфортные условия эксплуатации электронного блока;

- из анализа позиционных диаграмм (рис.4.) следует, что рассмотренное устройство согласования отсчетов может надежно

обрабатывать ошибки рассогласования в пределах $\pm 0,25$ периода сигнала старшего разряда точного отсчета;

- современная технологическая база позволяет строить на базе рассмотренной структурной схемы волоконно-оптические преобразователи угла с информационной емкостью до 15-17 бит при общем числе точек считывания информации равным 11, что позволяет повысить информационную загрузку волоконно-оптического канала передачи данных примерно до 1,5 бит/световод.

- созданный экспериментальный образец 14- разрядного преобразователя подтвердил высокую эффективность предложенных конструктивных и схемотехнических решений.

Список использованных источников

1. Гречишников В.М., Конохов Н.Е. Оптоэлектронные цифровые датчики перемещений со встроенными волоконно-оптическими линиями связи [Текст]: монография. — М.: Энергоатомиздат. Библиотека по автоматике. Вып. 677. - 1992. - 160 с.

2. А.с. 1569985. Оптоэлектронный преобразователь перемещения в код/ В.М. Гречишников, Н.Е. Конохов, А.С. Капустин // Открытия. Изобретения, 1988, № 45.

3. Гречишников В.М., Гречишников С.В. Обобщенная математическая модель цифровых преобразователей перемещений и методы ее анализа [Текст]: — Самара: Вестник СамГУ, Серия «Физ.-мат. науки», 1998 г. — С. 9.

4. Вращательный энкодер с волоконно-оптической передачей данных. - <http://www.sensors.com.ua>

СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ТОКА

А.М. Косолапов, А.Е. Часовских

Самарский государственный университет путей сообщения, г. Самара

Проблема измерения и масштабирования больших токов является актуальной на ж.д. транспорте, в металлургии и других отраслях промышленности. Одним из лучших решений является применение преобразователей постоянного тока с гальваническим разделением.

В докладе рассматривается предложенная и разработанная авторами система, позволяющая выполнить измерение и масштабирование постоянных и медленно меняющихся токов от нуля до нескольких тысяч ампер и более при погрешности до сотых долей процента.

Измерительная система содержит два трансформатора, источник переменного напряжения, ключи, резисторы и интегрирующий блок.

Система работает следующим образом: разность входного постоянного тока I_1 в обмотках и тока I_k -эквивалентного компенсирующего тока обмоток, намагничивает сердечники трансформаторов.