

ЦИФРОВЫЕ ДАТЧИКИ СО СТРУКТУРНОЙ ИЗБЫТОЧНОСТЬЮ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ В ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИИ

Лиманова Н.И., Гречишников В.М., Лиманов И.А.

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Датчики со структурной избыточностью являются многоканальными устройствами различной физической природы. Представляет интерес конструкционные особенности электромагнитных и оптоэлектронных каналов измерений цифровых датчиков перемещений.

Электромагнитный канал цифрового датчика, как и другие каналы, можно рассматривать как самостоятельный датчик, преобразующий перемещение в код. Преобразователь такого типа [1] содержит П-образный неподвижный магнитопровод 1 с зубцами и подвижный зубчатый ферромагнитный сердечник 2. на основание магнитопровода намотаны входная и выходная обмотки.

При перемещении сердечника сопротивление магнитной цепи датчика достигает минимального значения при совмещении зубцов за счет уменьшения воздушного зазора между ними. Подавая на входную обмотку напряжение переменного тока, получаем на выходной обмотке сигнал, амплитуда которого достигает максимума каждый раз при совмещении зубцов. Таким образом, линейное перемещение преобразуется в код.

На рис.1 показаны неподвижный магнитопровод и подвижный сердечник зубчатого датчика. Обозначим x_1 и x_2 части длины подвижного зубца, взаимодействующие с правым и левым неподвижными зубцами. Предположим, что зависимость x_1 от x линейна. В этом случае при $T > 3\alpha$ имеем

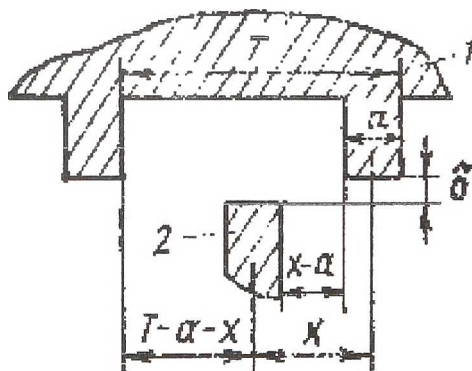


Рис. 1. Магнитопровод (1) и сердечник (2) зубчатого датчика

$$x_1 = \begin{cases} x & \text{при } 0 \leq x \leq a; \\ \frac{a}{T-2a}(T-a-x) & \text{при } a \leq x \leq T-a; \\ 0 & \text{при } T-a \leq x \leq T. \end{cases} \quad (1)$$

Эти равенства справедливы, поскольку при $x = a$ получаем $x_1 = a$, а при $0 \leq x \leq a$ и $T-a \leq x \leq T$ магнитная связь осуществляется практически только через близлежащий зубец. Учитывая, что зависимость x_2 от x симметрична соответствующей зависимости для x_1 относительно прямой $x = T/2$, можно записать

$$x_2 = \begin{cases} 0 & \text{при } 0 \leq x \leq a; \\ \frac{a}{T-2a}(x-a) & \text{при } a \leq x \leq T-a; \\ T-x & \text{при } T-a \leq x \leq T. \end{cases} \quad (2)$$

Выбирая в качестве средних линий потока отрезки ломаных, проведенных из середин участков x_1 и x_2 перпендикулярно к ним, и используя известную методику, определяем проводимости воздушных зазоров магнитной системы

$$g_3 = \begin{cases} 0,5\mu_0 b \left(\frac{a-x}{\delta} + \frac{2x}{x+\delta} \right) & \text{при } 0 \leq x \leq a; \\ \frac{\mu_0 ab \{ (T-3a) [(T-x^2) + x^2] - (a-\delta) (T-2a)^2 + 2a^3 \}}{[(T-3a)x + a^2 + \delta(T-2a)] [(T-3a)(T-x) + a^2 + \delta(T-2a)]} & \text{при } a \leq x \leq T-a; \\ 0,5\mu_0 b \left(\frac{x+a-T}{\delta} + 2 \frac{T-x}{T+\delta-x} \right) & \text{при } T-a \leq x \leq T. \end{cases} \quad (3)$$

Здесь b – толщина набора магнитопровода, μ_0 – магнитная проницаемость.

ЭДС зубчатого датчика может быть представлена в виде

$$e_x = w \frac{d\Phi_x}{dt} = I \frac{dL_3}{dt} = IV \frac{dL_3}{dx},$$

где w – число витков обмотки возбуждения; Φ_x – магнитный поток; L_3 – индуктивность; I – ток; V – скорость перемещения.

$$L_3 = w^2 g_3; \quad V = \frac{dx}{dt}.$$

Используя (3), получаем

$$e_x = \begin{cases} -V\omega^2 f \frac{\mu_0 b \{(x+\delta)^2 - 2\delta^2\}}{2\delta(x+\delta)^2} & \text{при } (\sqrt{2}-1)\delta \leq x \leq a; \\ V\omega^2 f \frac{\mu_0 ab(T-2a)^2(T-3a)[T(T-3a) + 2a^2 + 2\delta(T-2a)](2x-T)}{[(T-3a)(T-x) + a^2 + \delta(T-2a)]^2[(T-3a)x + a^2 + \delta(T-2a)]^2} & \text{при } a \leq x \leq T-a; \\ V\omega^2 f \frac{\mu_0 b \{(T+\delta-x)^2 - 2\delta^2\}}{2\delta(T+\delta-x)^2} & \text{при } T-a \leq x \leq T - (\sqrt{2}-1)\delta. \end{cases} \quad (4)$$

При $0 \leq x \leq (\sqrt{2}-1)\delta$ и $T - (\sqrt{2}-1)\delta \leq x \leq T$ целесообразно принять, что $e_x = 0$.

Оптоэлектронный волоконно-оптический канал цифрового датчика перемещений ОЦДП может использовать различные способы построения кодированных элементов в грубом (ГО) и точном (ТО) отсчетах. Наиболее распространены конструкции ГО с применением двоичных оптических кодовых масок и на основе цифровой обработки линейно изменяющегося сигнала во всем диапазоне преобразования. Конструкции канала ТО базируются на различных способах интерполяции физического кванта кодированного элемента, основанных на формировании полнофазной системы из m сигналов (муаровые, нониусные, спиральные интерполяторы) и цифровой обработке одного или нескольких периодических сигналов треугольной формы.

Для оценки эффективности использования оптического кабеля в различных конструкциях ОЦДП воспользуемся коэффициентом информационной загрузки $K_3 = q/M$, где q - число разрядов ОЦДП; M - число оптических модулей в кабеле. В общем случае для муаровых и нониусных растровых сопряжений параметр

$$K_{3, \text{нф}} = \log_2 M/(2M). \quad (5)$$

Для интерполяторов линейного или треугольного сигнала

$$K_{3\Delta} = q/M_{\Delta} \quad M_{\Delta} = 2, 4, 8. \quad (6)$$

Датчики на основе кодовых масок характеризуются значением $K_{3, \text{м}} = 0,5$, так как каждой точке считывания соответствует свой разряд выходного кода. Графики зависимостей 1 и 2 и $K_{3, \text{нф}}$ на рис.2 показывают, что уменьшение числа каналов оптического кабеля и повышение K_3 возможно лишь при использовании различных методов интерполяции аналогового линейно изменяющегося или треугольного сигнала.

Простейшей конструкцией, реализующей данный принцип интерполяции в каналах грубого и точного отсчета, является устройство, пока-

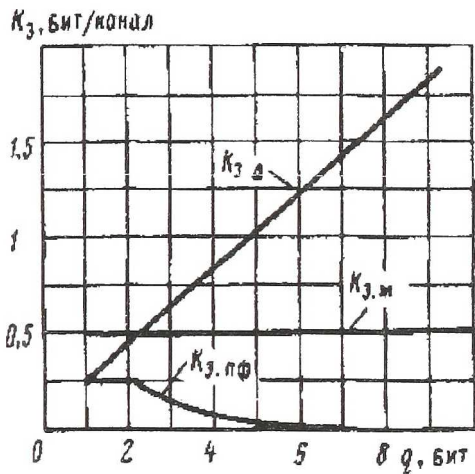


Рис.2. Зависимость коэффициента информационной загрузки оптического кабеля K_3 от числа разрядов q ОЦДП для различных способов формирования кода: $K_{3, м}$ — ОЦДП на основе кодовой маски; K_3 — ОЦДП с обработкой треугольного сигнала; $K_{3, пф}$ — ОЦДП с обработкой полнофазной системы сигналов

верстий считывающей диафрагмы, сдвинутых относительно друг друга на величину $\alpha_0 (K \pm 1/4)$, где $K = 0, 1, 2, \dots$. Как правило, информацию о значении ТО несет один треугольный сигнал, а остальные служат для устранения неоднозначности отсчета при работе на спадающем участке сигнала.

Для принятых конфигураций отверстий значение оптической мощности, проходящей через элементы указанных сопряжений, пропорционально площади засвеченных участков отверстий в считывающей диафрагме. Это обстоятельство обеспечивает теоретически линейную зависимость от координаты перемещения x оптической мощности, вводимой в приемные волокна 5 через селфоки 1-4 (рис. 3,б).

Реально достижимая точность формирования линейного сигнала составляет 0,3...0,5 % и соответствует информационной емкости ГО, равной 7...8 бит, что во многих случаях не удовлетворяет современным требованиям.

Пусть в сопряжении на рис. 3, а $h_1 = h_2$, $b = a_0/2$. Тогда амплитуды мощности сигналов в канале ГО и ТО будут примерно равны друг другу.

занное на рис.3. Кодированный элемент (рис.3, а) содержит протяженную трапециевидную щель, основание которой D_0 равно диапазону преобразования X_{max} , и набор прямоугольных щелей, ширина которых равна половине их периода α_0 .

Выходной оптический сигнал $P_{ГО}(x)$ грубого отсчета формируется при перемещении протяженной щели относительно прямоугольного отверстия в считывающей диафрагме. Оптические сигналы $P_{ГО}(x)$ и $P_{ГО}(x + \alpha_0/4)$ (рис. 3,в) точного отсчета генерируются при перемещении набора отверстий подвижного элемента относительно одного или нескольких равновеликих от-

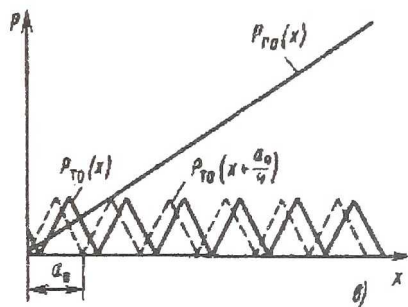
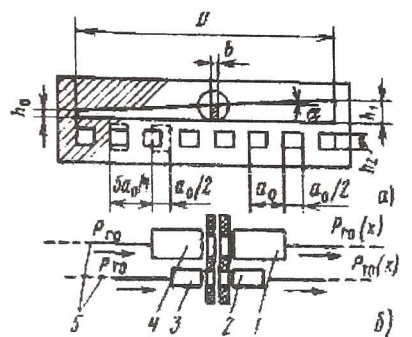


Рис.3. ОЦДП с формированием линейно-изменяющегося оптического сигнала:
 а — кодированный элемент; б — схема сопряжения кодированного элемента с ВОЛС; в — зависимость выходной оптической мощности ВОЛС перемещения

может достигать 7...8 бит/канал. Однако реализация таких возможностей подразумевает обеспечение адекватной точности изготовления и сборки сопряжения, достаточного динамического диапазона оптических сигналов на входах фотоприемников, а также применение высококачественных схемотехнических решений.

В круговом исполнении кодированный элемент представляет собой диск с набором отверстий, наружная кромка которого профилирована по спирали Архимеда.

Список литературы

1. Лиманова Н.И., Гречишников В.М., Лиманов И.А. Обобщенная энергетическая характеристика оптоэлектронных датчиков ДЛА, построенных на основе ВОЛС. //Проблемы и перспективы развития двигателестроения, СГАУ, часть 2, Самара, 2001.

Выбирая период шелей в ТО по соотношению $a_0 = x_{max}/2^N$ ГО и обеспечивая одинаковость погрешностей нелинейности сигналов в каналах ГО и ТО, получаем возможность формирования в ТО дополнительного числа разрядов $q_{TO} = q_{ГО}$. Таким образом, предельные возможности данного метода интерполяции при использовании современной технологической базы теоретически составляют 15...16 бит. Суммарный коэффициент информационной загрузки такого ОЦДП может составлять 3...4 бита на канал, что позволяет существенно упростить конструкцию его оптического кабеля.

Заметим, что полный код преобразователя может здесь формироваться и всего лишь по двум треугольным сигналам $P_{TO}(x)$ и $P_{TO}(x + a_0/4)$, причем ГО образуется путем реверсивного подсчета числа периодов изменения аналогового сигнала. Информационная нагрузка кабеля в такой структуре

2. Лиманов И.А. Электромагнитные преобразователи перемещений с распределенными параметрами. - М.: Энергоатомиздат, 1984, 57с.
3. Гречишников В.М., Конохов Н.Е., Оптоэлектронные цифровые датчики перемещений со встроенными волоконно-оптическими линиями связи. - М.: Энергоатомиздат, 1992, 161с.

АНАЛИЗ СЛОЖНОРАСПОЛОЖЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В МЕЛКОСЕРИЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Демин Ф.И., Афанасьева Е.В.

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

В процессе производства возникают задачи по ориентированию сложнорасположенных конструкций. Примером таких конструкций являются газоперекачивающие агрегаты (ГПА) (рис.1). Они представляют собой технологическую установку в блочно-контейнерном исполнении и предназначены для перекачки природного газа по магистральным газопроводам. ГПА состоит из блоков и узлов заводской готовности, монтаж которых производится на месте эксплуатации.

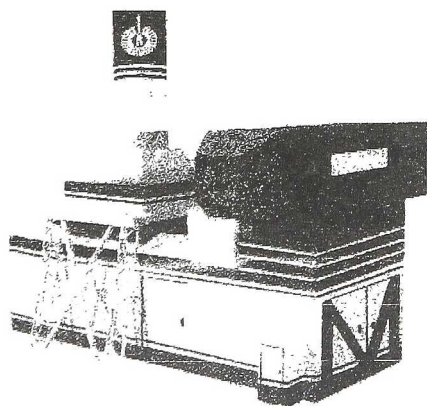
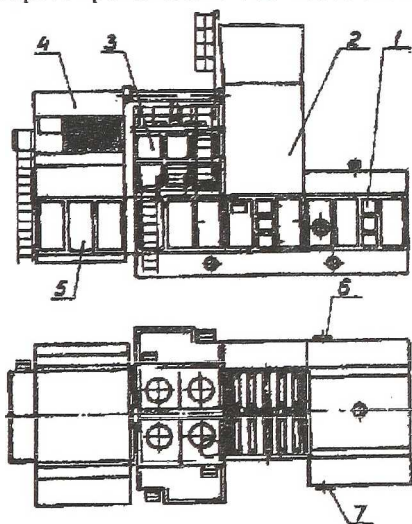


Рис. 1. ГПА: 1 - блок турбоагрегата; 2 - устройство выхлопное с шумоглушителем; 3 - блок маслоохладителей; 4 - устройство воздухоочистительное (ВОУ); 5 - камера всасывания; 6 - патрубок всасывающий; 7 - патрубок нагнетательный