

## ДВУХОТСЧЕТНЫЙ ОПТОЭЛЕКТРОННЫЙ СИНУСНО-КОСИНУСНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ УГЛОВОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ<sup>1</sup>

А.Н. Бусел, Н.П. Бусел

Излагаются вопросы оценки погрешностей двухотсчетного оптоэлектронного синусно-косинусного преобразователя угла, результаты испытаний опытных образцов и рекомендации по регулировке электронного тракта.

Ключевые слова: двухотсчетный синусно-косинусный оптоэлектронный преобразователь угла, погрешность, настройка

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Изобретение способа формирования оптоэлектронными средствами ортогональных гармонических сигналов с числом периодов на оборот вала, соизмеримым с аналогичными параметрами двухотсчетных вращающихся трансформаторов [1], выдвинуло в число приоритетных вопросы практической реализации двухотсчетных оптосинов, юстировки их оптического канала и регулировки электронного тракта.

### 2. СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ ГРУБОГО ОТСЧЕТА

При разработке конструкции растрового сопряжения синусно-косинусного оптоэлектронного преобразователя угла ограничимся случаем, когда яркость  $S$  источника излучения в пределах рабочего участка диаграммы постоянна, а окно подвижного лимба имеет радиальную форму с угловой шириной  $\Phi_{ок}$ . Далее введем в рассмотрение неподвижное окно модулятора, площадь которого ограничена с одной стороны радиусом  $R_0$  делительной окружности, а с другой – некоторой функцией  $F(\varphi)$ , показанной на рисунке 1.

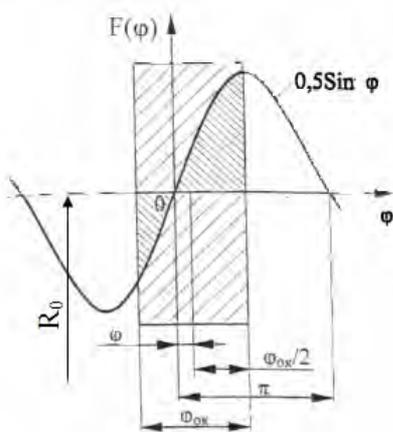


Рис. 1-Функция пропускания модулятора

С другой стороны потребуем, чтобы световой поток на выходе раstra (на рисунке 1 он показан плотной штриховкой) изменялся по гармоническому закону:

$$\Phi = \int_{\varphi-0.5\varphi_{ок}}^{\varphi+0.5\varphi_{ок}} SF(\varphi)d\varphi = \Phi_m \sin \varphi, \quad (1)$$

где  $\varphi$  – угол поворота модулирующего элемента;  $\Phi_m$  – максимальный световой поток.

Полагая далее в общем случае:

$$F(\varphi) = A \sin \varphi + B \cos \varphi, \quad (2)$$

после интегрирования (1) можно показать, что в формуле (2) косинусная составляющая отсутствует, а профиль неподвижного окна модулятора должен быть образован гармонической функцией:

$$F(\varphi) = A \sin \varphi, \quad (3)$$

<sup>1</sup> Работа выполнена на кафедре «Электротехника и электроника»

В итоге из (1) с учетом (3) находим, что световой поток на выходе раstra действительно изменяется по гармоническому закону

$$\Phi = SA \sin \frac{\varphi_{\text{ок}}}{2} \sin \varphi, \quad (4)$$

а амплитудное значение его зависит от площади окна [2].

Для грубого отсчета достаточно модулирующий элемент выполнить в виде эксцентричного кольца [3], сочетании с двухплощадочным фотоприемником (рисунок 2).

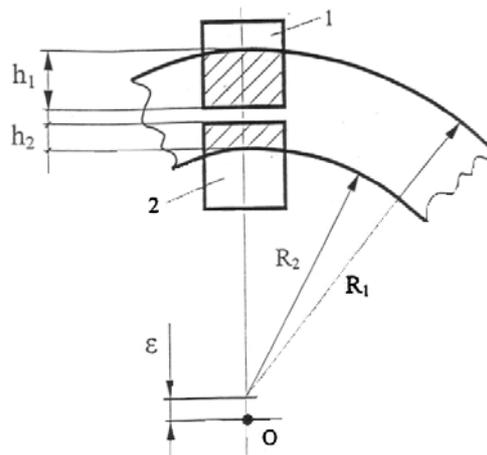


Рис. 2-Схема растрового сопряжения с эксцентричным кольцом

Для формирования результирующего электрического сигнала обе площадки фотоприемника подключаем к прямому и инверсному входам дифференциального усилителя, в результате чего на его выходе получим сигнал  $u_{\text{вых}}$ , изменяющийся по закону синуса с удвоенной амплитудой [3]:

$$u_{\text{вых}} = k2\varepsilon \left( \sin \varphi - \frac{\varepsilon}{4R} (1 + \cos 2\varphi) \right), \quad (5)$$

где  $k$  – коэффициент пропорциональности;  $R$  – среднее значение радиуса кольца, мм. Соотношение (5) можно рассматривать в качестве исходного при выборе конструктивных параметров модулирующих лимбов ( $\varepsilon$  и  $R$ ) с учетом относительной погрешности  $\varepsilon/2$  за счет наличия второй гармоники в выходных сигналах преобразователя. С другой стороны, выбор конструктивных параметров преобразователя существенным образом зависит от погрешностей точного отсчета.

### 3. СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ ТОЧНОГО ОТСЧЕТА С 64 ПЕРИОДАМИ ВЫХОДНЫХ СИГНАЛОВ

В качестве способа формирования сигнала точного отсчета остановимся на патенте Республики Беларусь [1], преимущество которого заключается в обеспечении стабильности формируемых гармонических сигналов (рисунок 3).

Сущность способа заключается в том, что при вращении лимба 3 на выходах фотоприемников 4 образуются две пары световых потоков  $\Phi_{11}$ ,  $\Phi_{12}$  и  $\Phi_{21}$ ,  $\Phi_{22}$ , модулированных в каждой паре по закону синуса и косинуса с заданным числом периодов  $p=64$  на оборот вала, а парные сигналы – в противофазе.

На рисунке 3 обозначены: 1–светодиод; 2–неподвижный и 3–вращающийся лимбы модулятора; 4–четырёхплощадочный фотоприемник; 5,8–дифференциальные усилители; 6–сумматор; 7–источник эталонного напряжения.

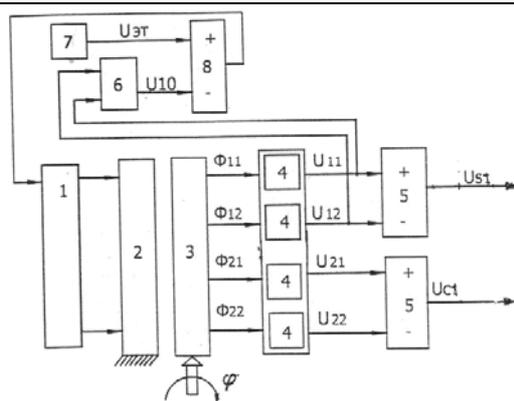


Рис. 3-Способ формирования гармонических сигналов точного отсчета

Парные сигналы  $U_{11}$ ,  $U_{12}$ ,  $U_{21}$ ,  $U_{22}$  вычитаются и преобразуются дифференциальными усилителями 5 в ортогональные гармонические сигналы с удвоенной амплитудой:

$$u_{s1} = 2U_m \sin 64\varphi;$$

$$u_{c1} = 2U_m \cos 64\varphi.$$

Кроме того, одна из пар выходных сигналов, например  $U_{11}$ ,  $U_{12}$  суммируется усилителем 6 и сравнивается с эталонным напряжением  $U_{эт}$ , что и позволяет заставить выходные сигналы преобразователя.

Вопросы согласования параметров двухотсчетного цифрового преобразователя угла с синусно-косинусным оптоэлектронным первичным датчиком изложены в работе [4].

#### 4. СПОСОБ ОТЛАДКИ И ОЦЕНКИ ПОГРЕШНОСТЕЙ ДВУХОТСЧЕТНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ УГЛА

Двухотсчетное исполнение преобразователя с числом периодов на оборот вала 1 и 64 позволяет выстроить методику их испытаний и метрологической аттестации из двух этапов. На первом этапе испытывается датчик с числом периодов 64, например, по методике, используемой при испытании многополюсных вращающихся трансформаторов [5].

Предварительная отладка электрической схемы точного отсчета датчика осуществляется по осциллограммам выходных гармонических сигналов и константам на выходе сумматоров при постоянном потоке излучателя, включенного без обратной связи. Такая процедура позволяет оценить качество предварительной юстировки светодиодов и степень постоянства амплитудных значений выходных сигналов.

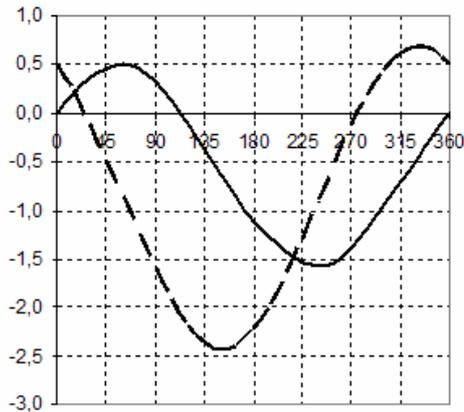
Для калибровки амплитудных значений выходных сигналов точного отсчета вал датчика в пределах периода поворачивается микрометром, а величины синусного и косинусного сигналов отсчитываются по цифровым вольтметрам.

При калибровке сигналов грубого отсчета в качестве значения угла используется точный отсчет при нулевых выходных сигналах, что позволяет фиксировать до  $p=64$  значений измеряемых сигналов в пределах половины периода с последующей предварительной оценкой наличия постоянных составляющих и принятия решения о целесообразности их компенсации.

## 5. РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ ТОЧНОГО ОТСЧЕТА ДВУХ ЭКЗЕМПЛЯРОВ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

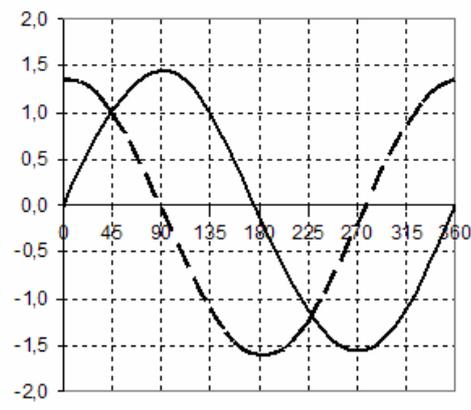
Измерения выходных сигналов точного отсчета преобразователя производились на измерительном устройстве, в котором угол поворота вала датчика задавался микрометром с ценой деления 15 электрических градусов. Для повышения достоверности выходных сигналов, измерения проведены трижды.

Усредненные значения синусного и косинусного сигналов точного отсчета двух датчиков приведены на рисунках 4 и 5, соответственно для датчика с отъюстированным и неотъюстированным излучателями.



φ, электрических градусов

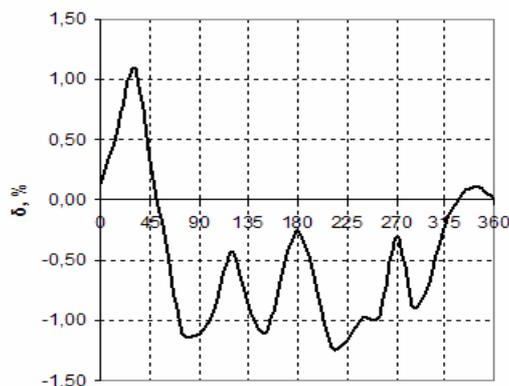
Рис. 4



φ, электрических градусов

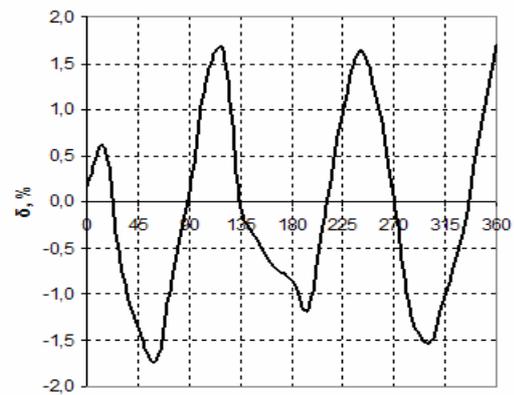
Рис. 5

Погрешность формирования выходных сигналов оценивалась по отношению к первым гармоническим составляющим, причем амплитудные значения первых гармоник и начальные фазы определялись из условия минимизации абсолютной погрешности, а относительные значения погрешностей синусного и косинусного сигнала с отъюстированным светодиодом приведены на рисунках 6 и 7.



φ, электрических градусов

Рис. 6



φ, электрических градусов

Рис. 7

Оценка угловой погрешности точного отсчета с учетом относительных погрешностей выходных сигналов (рисунки 6 и 7) по методике изложенной в [5] позволяет отнести рассмотренный преобразователь к 6 классу точности в габаритах, сопоставимых с двухотсчетным вращающимся трансформатором.

## 6. ВЫВОДЫ

1. Оценивая погрешности выходных сигналов можно сделать вывод, что отыскание начальных фаз первых гармоник из условия минимизации абсолютных погрешно-

стей дает более точные результаты и такую процедуру можно рекомендовать для оценки погрешностей преобразователей при их настройке и аттестации.

2. При отладке электронного тракта преобразователя практически достаточно скомпенсировать постоянные составляющие выходных сигналов.

#### Литература

1. Патент Республики Беларусь № 6979 от 27.12.2004г. Автор-Н.П. Бусел.
2. Разработка эскизно-технического проекта на датчики углового положения «Оптосин 1-64», изготовление макетного и десяти опытных образцов датчиков: Отчет о НИР (заключительный)/ Белорусско-Российский университет; Руководитель Н.П. Бусел.-ХД 0249-20/1587; № 2002 3040.-Могилев, 2005.-24с.: ил.
3. Пилипович В.А. Многоэлементные фотоприемники в преобразователях перемещений/ В.А. Пилипович, А.К. Есман, В.С. Поседако-Мн.: Навука і тэхніка, 1991.-192с.
4. Бусел А.Н. Согласование параметров двухотчетного цифрового преобразователя угла с синусно-косинусным оптоэлектронным первичным датчиком// Материалы 41-й студ. науч.-техн. конф.-Могилев, 2005. С. 30-32.
5. Ахмеджанов А.А. Синхронно-следающие системы повышенной точности.-М.: Оборонгиз, 1962.

#### **Бусел Александр Николаевич**

Студент электротехнического факультета  
Белорусско-Российского университета, г. Могилев  
Тел.: (+375 222) 22-89-70; 25-10-91.  
Факс: (+375 222) 25-10-91  
E-mail: [jsk@mgtu.mogilev.unibel.by](mailto:jsk@mgtu.mogilev.unibel.by)

#### **Бусел Николай Петрович**

Доцент, зав. кафедрой «Электротехника и электроника»  
Белорусско-Российского университета, г. Могилев  
Тел.: (+375 222) 22-89-70; 25-10-91.  
Факс: (+375 222) 25-10-91  
E-mail: [jsk@mgtu.mogilev.unibel.by](mailto:jsk@mgtu.mogilev.unibel.by)