

ОПТОЭЛЕКТРОННЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ВО ВРЕМЕННОЙ ИНТЕРВАЛ С ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ КОМПЕНСАЦИЕЙ ПОГРЕШНОСТЕЙ МОДУЛЯТОРА

С. Ю. ПОТОМСКИЙ, А. В. КОСИНСКИЙ

Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики,
Москва, Россия, e-mail: spotomskiy@hse.ru

Рассмотрен оптоэлектронный преобразователь перемещений во временной интервал с дифференциальным способом компенсации погрешностей одноканального растрового модулятора, возникающих из-за нестабильностей темнового напряжения фотоприемника и уровня напряжения источника постоянного напряжения.

Ключевые слова: оптоэлектронный преобразователь, линейные перемещения, дифференциальная компенсация.

The optoelectronic converter of movements in a time interval with differential way of compensation of errors of the single-channel raster modulator arising because of not stability of dark tension of a photodetector and level of tension of a source of constant tension is considered.

Key words: optoelectronic converter, linear movements, differential compensation.

В настоящее время аналого-цифровые преобразователи перемещений (АЦПП) временного типа – одни из наиболее перспективных типов преобразователей, где измеряемая величина непосредственно преобразуется во временной интервал, который превращается в пропорциональное число счетных импульсов, подсчитываемое счетчиком, выдающим на выходе цифровой код [1]. Для преобразования линейных перемещений используют АЦПП временного типа на базе одноканального растрового модулятора (одноканальный оптоэлектронный АЦПП временного типа) [2].

Основным преимуществом такого типа АЦПП по сравнению с фазовыми [3, 4] является отсутствие большого числа модуляторов и

питающих напряжений, а также условий к их симметричности (равные амплитуды и равные смежные сдвиги по фазам). Также АЦПП временного типа не требовательны к равенству передаточных коэффициентов растровых модуляторов, точному сдвигу фаз каждого из модуляторов (к шагу решетки), а питающим напряжениям не нужны равенства амплитуд и фазовых сдвигов между смежными напряжениями питания, при этом отсутствуют требования к равенствам передаточных коэффициентов фотоприемников и идентичности их характеристик преобразования и коэффициентов усиления усилителей.

Несмотря на существенное упрощение конструкции АЦПП, для точного преобразования перемещения в цифровой код необходимо первичное преобразование перемещения во временной интервал, выполняющееся оптоэлектронным преобразователем перемещений во временной интервал (ППВИ).

Одно из условий точной работы ППВИ без погрешностей выглядит следующим образом: напряжение, предназначенное для компенсации постоянной составляющей сигнала, должно быть стабильным и равным постоянной составляющей.

$$k_y k_{\Phi\P} \Phi_0 S_0 + k_y U_{\Phi\P} - U_0 = 0,$$

где k_y , $k_{\Phi\P}$ – коэффициенты усиления усилителя и преобразования фотоприемника; S_0 – средняя составляющая прозрачности растрового модулятора; $U_{\Phi\P}$ – темновое напряжение фотоприемника; Φ_0 – величина светового потока; U_0 – источник постоянного напряжения.

Данное условие может не выполняться из-за нестабильностей источника постоянного напряжения U_0 и величины светового потока Φ_0 , а также «дрейфа» нуля фотоприемника (значение напряжения $U_{\Phi\P}$ может меняться под воздействием внешних факторов и времени).

Рассмотрим случаи нестабильности источника постоянного напряжения и «дрейфа» нуля фотоприемника, а также схемотехническое решение, позволяющее скомпенсировать погрешность, возникающую из-за специфики оптоэлектронного ППВИ.

Длительность временного интервала определяется временем срабатывания второго нуля-органа и функция преобразования оптоэлектронного ППВИ (без учета условий идеальной работы) описывается как [2]:

$$t_{\text{НО}} = t'_{\text{НО2}} = \frac{1}{\omega} \arcsin \frac{k_y k_{\Phi\P} \Phi_0 S_0 + k_y U_{\Phi\P} + k_y k_{\Phi\P} \Phi_0 S_0 m_x \sin(2\pi x/g) - U_0}{U_m}, \quad (1)$$

где t'_{HO2} – момент времени, соответствующий равенству опорного напряжения $U_{\text{СУ}}$ и $U_{\text{HЧ}}$; m_x – глубина модуляции; x – измеряемое перемещение; g – шаг раstra; U_m , ω – амплитуда и частота напряжения генератора.

При этом собственные времена срабатывания нуль-органов и триггера считаются практически равными нулю.

При изменении напряжения U_0 на ΔU_0 , а $U_{\text{ФПТ}}$ на $\Delta U_{\text{ФПТ}}$ значение временного интервала меняется с t_{HO} на Δt_{HO} .

С этим учетом перепишем (1)

$$t_{\text{HO}} + \Delta t_{\text{HO}} = \frac{1}{\omega} \arcsin [k_y k_{\text{ФП}} \Phi_0 S_0 + k_y (U_{\text{ФПТ}} + \Delta U_{\text{ФПТ}}) + k_y k_{\text{ФП}} \Phi_0 S_0 m_x \sin(2\pi x/g) - (U_0 + \Delta U_0)] / U_m. \quad (2)$$

В результате ряда преобразований было получено выражение погрешности преобразования Δt_{HO} как функции двух переменных $\Delta U_{\text{ФПТ}}$, ΔU_0

$$\Delta t_{\text{HO}} = \frac{k_y \Delta U_{\text{ФПТ}} - \Delta U_0}{\omega U_m \cos(2\pi x/g)}.$$

Для компенсации этой погрешности предложена дифференциальная схема оптоэлектронного ППВИ с использованием статического растрового элемента, дополнительного фотоприемника и дифференциального усилителя (рисунок).

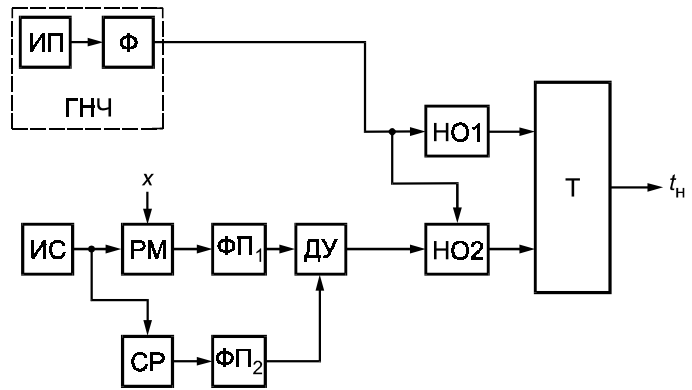
Принцип работы устройства выглядит следующим образом. Постоянный световой поток Φ_0 от источника света *ИС* поступает на растровый модулятор *РМ* и на статический растровый элемент *СР*, конструктивно полностью идентичный модулятору *РМ*, состоящему из неподвижного и подвижного растров, связанных с объектом, перемещение x которого, является входным сигналом преобразователя. В *СР* подвижный растр не связан с объектом, а жестко закреплен в положении соответствующем исходному состоянию *РМ* при $x = 0$.

Функции прозрачности растрового модулятора и статического раstra определяются соответственно

$$S = S_0 (1 + m_x \sin(2\pi x/g));$$

$$S = S'_0,$$

где S'_0 – средняя составляющая прозрачности статического раstra.



Функциональная схема дифференциального оптоэлектронного преобразователя перемещений во временной интервал:

ГНЧ – генератор несущей частоты, состоящий из источника питания *ИП* и фильтра *Ф*; *ИС* – источник света; *РМ* – растровый модулятор; *СР* – статический растровый элемент; *ФП1*, *ФП2* – фотоприемники; *ДУ* – дифференциальный усилитель; *НО1*, *НО2* – нуль-органы; *Т* – триггер

Устройство настраивается таким образом, чтобы имело место равенство средних составляющих прозрачности *РМ* и *СР*: $S_0 = S'_0$. Световой поток на выходах модулятора и растрового элемента преобразуется с помощью фотоприемников *ФП1*, *ФП2* в пропорциональное напряжение

$$U_{\text{ФП1}} = k_{\text{ФП1}} S \Phi_0 + U_{\text{ФПТ1}};$$

$$U_{\text{ФП2}} = k_{\text{ФП2}} S' \Phi_0 + U_{\text{ФПТ2}},$$

где $k_{\text{ФП1}}$, $k_{\text{ФП2}}$, $U_{\text{ФПТ1}}$, $U_{\text{ФПТ2}}$ – коэффициенты преобразования и темновые напряжения фотоприемника.

Выходные напряжения с фотоприемников *ФП1* и *ФП2* поступают на первый и второй входы дифференциального усилителя *ДУ*, соответственно, а напряжение на выходе *ДУ* определяется выражением

$$U_{\text{ДУ}} = k_{\text{ДУ1}} U_{\text{ФП1}} - k_{\text{ДУ2}} U_{\text{ФП2}},$$

где $k_{\text{ДУ1}}$, $k_{\text{ДУ2}}$ – коэффициенты усиления первого и второго каналов дифференциального усилителя.

Нуль-орган *НО1* срабатывает от напряжения $U_{\text{ГНЧ}}$ с выхода генератора несущей частоты *ГНЧ*

$$U_{Hq} = U_m \sin \omega t. \quad (3)$$

Момент срабатывания нуля-органа *HO1* равен

$$t_{HO1} = t'_{HO1} + t''_{HO1},$$

где t'_{HO1} – момент времени, соответствующий равенству опорного напряжения U_{Hq} порогу U_{H1} срабатывания нуля-органа *HO1*; t''_{HO1} – собственное время срабатывания нуля-органа *HO1*.

Ноль-орган *HO2* срабатывает в момент равенства напряжений $U_{дy}$ и U_{Hq} , который определяется выражением

$$t_{HO2} = t'_{HO2} + t''_{HO2},$$

где t'_{HO2} – момент времени, соответствующий равенству опорного напряжения U_{cy} и U_{Hq} ; t''_{HO2} – собственное время срабатывания нуля-органа *HO2*.

Определим t'_{HO1} и t'_{HO2} :

$U_{H1} = U_{Hq}$, $U_{cy} = U_{Hq}$, с учетом (3) и после преобразований получим:

$$t'_{HO1} = \frac{1}{\omega} \arcsin \frac{U_{HO1}}{U_m};$$

$$t'_{HO2} = \frac{1}{\omega} \arcsin \frac{U_{дy}}{U_m}.$$

От сигнала нуля-органа *HO1* срабатывает триггер *T*, а сигналом с нуля-органа *HO2* он возвращается в исходное состояние. Таким образом, на выходе триггера получается импульс (временной интервал) длительность которого пропорциональна входной величине x и определяется временем срабатывания *HO2*

$$t_{HO} = t'_{HO2} = \frac{1}{\omega} \arcsin \frac{U_{дy}}{U_m}$$

или с учетом выражений, входящих в состав $U_{дy}$

$$t_{HO} = \frac{1}{\omega} \arcsin \left[k_{дy1} k_{ФП1} S_0 \Phi_0 - k_{дy1} k_{ФП1} S'_0 \Phi_0 + k_{дy1} U_{ФП1} - \right. \\ \left. - k_{дy2} U_{ФП2} + k_{дy1} k_{ФП1} S_0 \Phi_0 m_x \sin(2\pi x/g) \right] / U_m.$$

С учетом (2), а так же равенств коэффициентов усиления ДУ $k_{\text{ДУ1}} = k_{\text{ДУ2}}$ и темновых напряжений фотоприемников $U_{\text{ФПТ1}} = U_{\text{ФПТ2}}$, когда они изготовлены на одной подложке и при условии, необходимом для нормальной работы ППВИ,

$$\frac{k_{\text{ДУ}} k_{\text{ФП}} \Phi_0 S_0 m_x}{U_m} = 1 \quad (4)$$

получим окончательное выражение функции преобразования дифференциального оптоэлектронного ППВИ

$$t_{\text{НО}} = (1/\omega)(2\pi x/g).$$

Выражение с учетом погрешности преобразования устройства $\Delta t_{\text{НО}}$ из-за «дрейфа» нуля фотоприемников записывается аналогично (2), когда в (4) подставляются значения темновых напряжений фотоприемников с учетом их «дрейфа» $U_{\text{ФПТ1}} + \Delta U_{\text{ФПТ1}}$, $U_{\text{ФПТ2}} + \Delta U_{\text{ФПТ2}}$.

Аналогично можно записать выражение для погрешности преобразования $\Delta t_{\text{НО}}$

$$\Delta t_{\text{НО}} = \frac{k_{\text{ДУ}} \Delta U_{\text{ФПТ1}} - k_{\text{ДУ}} \Delta U_{\text{ФПТ2}}}{\omega U_m \cos(2\pi x/g)}.$$

Таким образом, темновые напряжения фотоприемников равны между собой $\Delta U_{\text{ФПТ1}} = \Delta U_{\text{ФПТ2}}$ при $\Delta t_{\text{НО}} = 0$ и погрешности из-за нестабильностей темнового напряжения фотоприемника и уровня напряжения источника постоянного напряжения в схеме ППВИ отсутствуют.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Косинский А. В., Потомский С. Ю.** Аналого-цифровые преобразователи перемещений временного типа // Измерительная техника. 2011. № 5. С. 20 – 21; **Kosinskii A. V., Potomskii S. Yu.** Time-type analog-to-digital displacement transducer // Measurement Techniques. 2011. V. 54. N 5. P. 502 – 504.
2. **Косинский А. В., Потомский С. Ю.** Аналого-цифровой преобразователь перемещений временного типа на базе одноканального растрового модулятора // Метрология. 2012. № 5. С. 27 – 33.
3. **Преснухин Л. Н. и др.** Фотоэлектрические преобразователи информации. М.: Машиностроение, 1974.
4. **Косинский А. В. и др.** Аналого-цифровые преобразователи перемещений. М.: Машиностроение, 1991.

Дата принятия 14.03.2013 г.