



Диференциален оптичен сензор за малки премествания

Филип Цветанов ^{a, b}, Юлий Златев ^c, Иван Иванов ^a

^a Висше училище по Телекомуникации и Пощи, София 1700, бул. „Акад. Ст. Младенов“ 1, България,

^b Югозападен университет „Неофит Рилски“, Благоевград 2700, бул. Иван Михайлов“ 66, България,

^c Технически университет София, бул. Климент Охридски“ 8, София 1756, България

РЕЗЮМЕ

В статията се предлага конструкция и анализ на действието на диференциален оптичен сензор за малки премествания. Диференциалната схема на включване способства за двукратно увеличение на чувствителността му. Опорният сигнал, стабилизиращ действието на схемата се получава от сумарния ток в диференциалната схема. Математическият анализ определя взаимното разположение на оптичния сигнал и апертурата на фотоприемниците.

Ключови думи: оптични сензори, сензори за налягане, фотопреобразуватели.

Differential Optical Sensor for Small Displacements

Filip Tsvetanov ^{a, b}, Ulij Zlatev ^c, Ivan Ivanov ^a

^a University of Telecommunications and Post, Sofia, Sofia 1700, bul. „Acad. St. Mladenov“ 1, Bulgaria,

^b South-West University “Neofit Rilski”, Blagoevgrad 2700, bil. Ivan Mihajlov“ 66, Bulgaria,

^c Technical University of Sofia, bul. Kliment Ohridski“ 8, Sofia, 1756, B

ABSTRACT

The paper proposes construction and analysis of the operation of differential optical sensor for small displacements. The differential scheme helps to a twofold increase in sensitivity. The supporting signal stabilizing the scheme is derived from the cumulative current in the differential scheme. Mathematical analysis determined the mutual arrangement of the optical signal and aperture photo receivers.

Keywords: оптични сензори, сензори за налягане, фотопреобразуватели.

1. Въведение

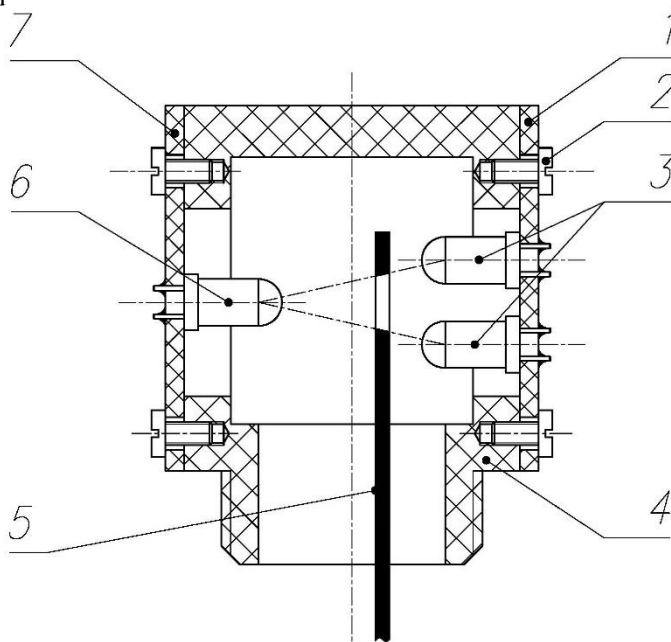
Множество физични величини се измерват с чувствителен елемент, който ги възприема като малки премествания – части от милиметъра. Най често като такъв се използват елементи, които търпят деформация от физичната величина - мембрани, еластични елементи и др. Един от проблемите е прецизното измерване на това преместване. В много случаи, с оглед подобряване на параметрите на сензора и ефективното преобразуване на сигнала в електрически, се извършва вторично преобразуване на неелектричната величина в друга такава, след което тя

се преобразува в електрическа [1, 2]. Едно добро решение е преобразуването му в светлинен поток, чийто интензитет е пропорционален на него и от там точното му измерване с оптични преобразуватели и електронни усилватели [3].

2. Конструкция на оптичен сензор

С настоящата разработка, се цели увеличаване на чувствителността на вторичния преобразувател на този тип сензор, без да се намаляване на точността му. Принципът, който се предлага е базиран на създаването на диференциален приемник на оптичния преобразувател, с което да се удвои чувствителността му.

За да се отстрани грешката от нестабилността на оптичния излъчвател, в предлаганата конструкция не се използва отделен опорен фотоприемник, а опорният сигнал се формира чрез сумиране на тока на двата фотоприемника и преобразуването му в напрежение. Конструкцията на вторичния преобразувател е представена на фиг. 1.

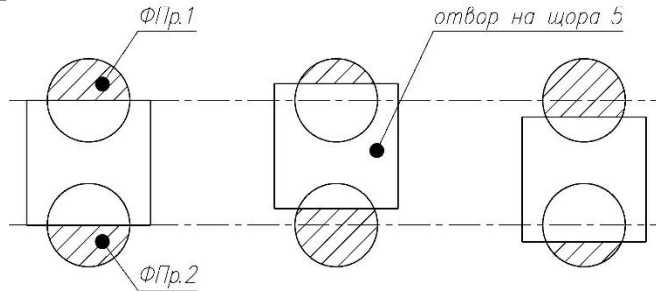


Фигура 1 – Конструкция на вторичния преобразувател

Първичният преобразувател може да бъде мембрана или пружина, (непоказан на схемата). Към него твърдо е закрепена щората 5, в горния край на която има отвор за светлината. От едната му страна е закрепен фотоизлъчвателят 6, монтиран върху държач 7, с възможност за центриране чрез два от четирите винта 2. От другата страна на щората се намират двата фотоприемника 3, монтирани върху държач 1, който също може да се центрира механично.

Преобразувателят е монтиран в корпус 4, който се закрепва върху първичния преобразувател. Настройката на преобразувателя се заключава в симетрирането на фотоизлъчвателя 6 и двата фотоприемника 3 спрямо отвора на щората 5.

Индикатор за това може да бъде симетрията на токовете в двата фотоприемника. Отворът се подбира така, че в спокойно положение той да е симетрично разположен спрямо фотоприемниците и те да бъдат наполовина осветени. Така, при движение на мембраната в едната посока, светлинният поток върху единия фотоприемник ще нараства, а другият ще намалява със същата стойност и с най-голяма скорост, както е показано на фиг.2.

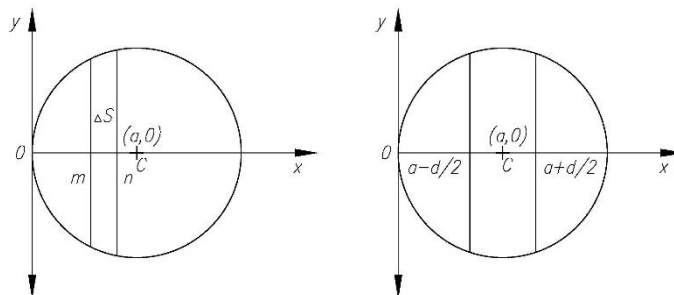


Фигура 2 – Промяна на светлинния поток при движение на щората

По този начин се реализира диференциален преобразувател и се удвоява чувствителността му. При движение на мембраната в обратна посока, действието е същото, но се променя посоката на изменение на светлинния поток и като краен резултат поляритета на формирания сигнал. Така сензорът може директно да управлява системи, регулиращи налягането – за зададената стойност мембраната е в спокойно състояние и на изхода има нулев сигнал. При всяка промяна на налягането, сензорът подава сигнал, чиято амплитуда е пропорционална на промяната в налягането, а поляритетът дава посоката на изменението му.

3. Анализ на Формирането на Сигнала

На фиг. 2 е показано, че активната част на фотоприемниците, формираща полезния сигнал се включва в централната част от двете страни на диаметъра на фотоприемниците. В тази част сензорът има най-голяма чувствителност и линейност на характеристиката. Това може да се докаже теоретично на базата на анализ, който е графично визуализиран на Фиг. 3.



Фигура 3 – Диаграми за анализ формирането на сигнала на сензора

Проекцията на светодиода е показана като кръг с диаметър $2a$ и център m . C , която има координати $(a,0)$, по отношение на така въведената координатна система. Движението на диафрагмата на щората съвпада с положителната посока на оста Ox . Проекцията на правоъгълния отвор на диафрагмата с размери $2a$ и d се определя върху кръга лице ΔS , което се изчислява по зависимостта:

$$\Delta S = 2 \int_m^n \sqrt{a^2 - (x - a)^2} \cdot dx, \quad (1)$$

където - m е левият край, а n – десният край на проекцията на отвора на диаграмата. Реализираните размери отговарят на условието:

$$m - n = d \quad (2)$$

$$\Delta S = 2 \int_m^{m+d} \sqrt{a^2 - (x - a)^2} dx. \quad (3)$$

Фактически, при движението на диафрагмата, проектираният отвор определя различни сечения върху фотоприемника при изменението на m в границите

$$0 < m < 2a, \text{ съгласно, } \Delta S = \Delta S(m). \quad (4)$$

По-нататъшната задача се свежда да се определи оптималното положение на отвора на щората, спрямо фотоприемника, при което чувствителността на сензора е максимална. За целта се намира производната на тази функция:

$$[\Delta S(m)]' m = 4 \sqrt{a^2 - (m + d - a)^2} - \sqrt{a^2 - (m - a)^2}. \quad (5)$$

Като се приравни последното равенство на нула, се получава:

$$m = a - \frac{d}{2}, \quad (6)$$

Полученият резултат показва, че сензорът има най-голяма чувствителност, когато ходът на отвора на щората се определя като активен участък на фотоприемника в областта около диаметралната му симетрия, както е показано на фиг. 2. Следователно, оптималните стойности за m и n са:

$$m = a - d/2 \text{ и } n = a + d/2 \quad (7)$$

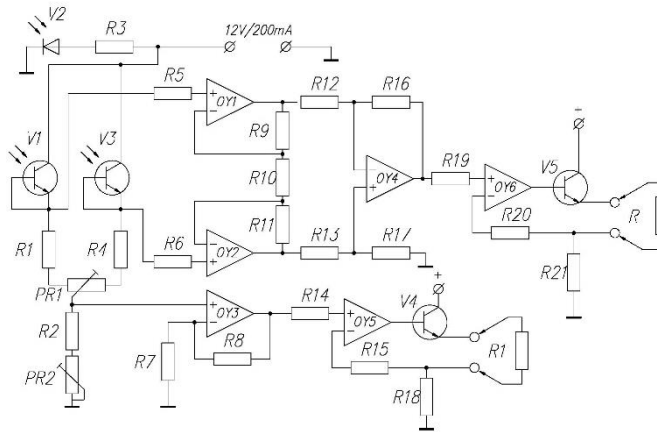
Табелирането на стойностите на $\Delta S(m)$, когато $d \in (0,1; 0,2)$ показва почти линейна зависимост:

$$d = 0,1 (0,01) 0,2, (mm); \quad (8)$$

$$(\Delta S)_{\max} = 0,4 (0,04) 0,8 (mm^2) \quad (9)$$

4. Електронен Преобразовател

На фиг. 4 е показана принципната схема на електронния преобразовател на сензора. Фотоизлъчвателят $V2$ и фотоприемниците $V1$ и $V3$ се захранват от общ източник. Чрез тримера $RP1$ се симетрират токовете на $V1$ и $V3$ при нулево показание на сензора. Върху $R2$ и $RP2$ се получава среден пад на напрежение, определящ светлинния поток. Това напрежение се усилва и се използва като опорен сигнал. Диференциалният сигнал от фотоприемниците се усилва от диференциалния усилвател, реализиран с $OY1$, $OY2$ и $OY4$. Той има голям коефициент на усилване и голям коефициент на потискане на синфазни сигнали.



Фигура 4 – Принципна схема електронен преобразовател

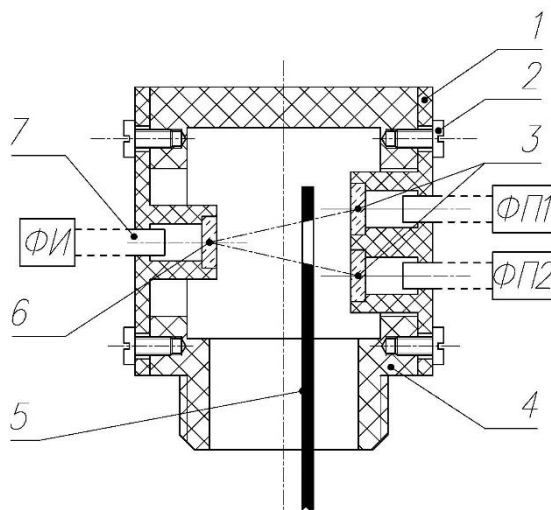
След усилване, полезният сигнал се преобразува в ток от преобразовател напрежение - ток $OY6$. Опорният сигнал също се преобразува в ток от $OY5$. Това се прави, когато сензорът е изнесен на значително разстояние от измервателната система и при пренасянето му може да възникнат смущаващи сигнали. Сигналите могат да се включат директно към $АЦП$ – опорният сигнал като опорно напрежение се настройва с $RP2$), а полезният сигнал - към входа на $АЦП$.

5. Конфигурация на Сензора при Проблемни Места на Експлоатация

В практиката има много случаи, когато на мястото, където се проявява измерваната величина възникват сериозни проблеми, като невъзможност или затруднено използване на електронни компоненти и захранващо напрежение, наличие на агресивна среда или значителни електромагнитни смущения.

На фиг. 5 е дадено едно решение на предлагания по-горе сензор, при което активните елементи на сензора и захранването му са изнесени на значително разстояние. В механичната конструкция са поставени лещи вместо фотоизлъчвател и фотоприемници. Така става възможно да се получи същата оптична конфигурация

на светлинния поток, както е показана на фиг. 1. Светлината от отдалечения фотоизлъчвател (ФИ) постъпва през оптично влакно 7, преминава през леща 6 отвора на щората 5, попада в лещите 3 и по съответните им оптични влакна се подава на фотоприемник 1 (ФП1) и фотоприемник 2 (ФП2), които също са на достатъчно отдалечено разстояние от местонахождението на сензора, заедно с усилвателите на електрическия сигнал.



Фигура 5 – Модифицирана конструкцията на вторичния преобразувател

6. Заключение

Областта за приложение на предлагания сензор е измерване на налягане, деформации, сили и др. Оптичният преобразувател може да се интегрира и използва като вторичен преобразувател във всякакви сензори, чиито първични преобразуватели имат активен ход механично преместване от порядъка на няколко милиметра. Разработката на сензора е в резултат на финансирания проект за научно-изследователска дейност към Висшето Училище по Телекомуникации и Пощи.

Литература

- Porter, J., Queener, H., Lin, J., (2006). Adaptive Optics for Vision Science Principles, Practices, Design, and Applications, Wiley.
- Hui, R., O'Sullivan, M., (2009). Fiber-optic Measurement Techniques, Elsevier Academic Press
- Webster, J.G., (2004). Measurement, Instrumentation and Sensors Handbook, CRC Press.
- Cole-Parmer Instrument Company – Serving the Research & Technical Communities Worldwide Catalog, Illinois, USA.