

Diferencinio metodo taikymas indikaciniams jutikliams

V. Bartkevičius, A. Dosinas

Taikomosios elektronikos katedra, Kauno technologijos universitetas,

Studentų g. 50, LT-51368 Kaunas, Lietuva, tel. +370 37 300270, el. p. kat0102@ktu.lt

J. Daunoras

Valdymo technologijų katedra, Kauno technologijos universitetas,

Studentų g. 48, LT-51367 Kaunas, Lietuva, tel. +370 37 300251, el. p. jonas.daunoras@ktu.lt

Įvadas

Gaminant bei surenkant precizines konstrukcijas, surinkimo mazgus dažnai tenka tiksliai pozicionuoti kitų objektų atžvilgiu ar užtikrinti atstumą tarp jų reikiamame intervale. Tokių uždavinių sprendimą daugeliu atvejų galima gerokai supaprastinti, naudojant specialius indikacinius jutiklius, pasižyminčius tuo, kad jų išėjimo signalas lygus nuliui, kai kontroliuojamojo parametro vertė yra nominali, o parametru nukrypęs į vieną ar kitą pusę, signalo vertė proporcingai pasikeičia, įskaitant ir nuokrypio ženklą. Tokių įtaisų veikimas paprastai būna pagrįstas diferencinio principo taikymu. Jo esmė – dviejų pagalbinių signalų S_a ir S_b skirtumo ($S_a - S_b$) skaičiavimas.

Metodo savybės

Įgyvendinant metodą optinėmis elektroninėmis neardomosios kontrolės priemonėmis [1], pagalbiniai signalai gali būti du priešingų fazių sinusoide moduluoti šviesos ar infraraudonųjų spindulių pluoštai, kurių srauto kintamosios dedamosios $i_a = -i_b$. Optiniu kanalu einantys spinduliai būna veikiami kontroliuojamojo parametro. Šį poveikį įvertinsime koeficientais K_a ir K_b . Tuomet

$$S_a = K_a i_a, \quad S_b = K_b i_b. \quad (1)$$

Gautas diferencinis signalas detektuojamas sinchroniniu detektoriumi, kurio nuolatinė dedamoji Z panaudojama kontroliuojamojo parametro nominaliosios vertės indikacijai:

$$Z = \begin{cases} > 0, & \text{kai } K_a > K_b, \\ = 0, & \text{kai } K_a = K_b, \\ < 0, & \text{kai } K_a < K_b. \end{cases} \quad (2)$$

Šiuo metodu veikiančio įtaiso struktūrinė schema pateikta 1 pav. Ji sudaro optinių signalų siųstuvą S , objektą O ir imtuvą I . Siųstuvą sudaro harmoninių virpesių generatorius 1, galios stiprintuvas 2 ir optiniai spinduliai 3a ir 3b, kurių maitinimo srovių kintamosios

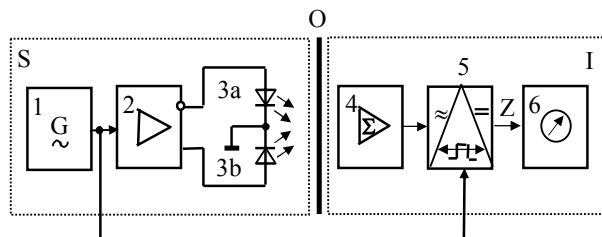
dedamosios viena kitos atžvilgiu yra priešingų fazių. Imtuvą sudaro diferencinio signalo formuotuvas 4, sinfazinis detektorius 5 ir indikacijos blokas 6.

Teigiama diferencinio metodo savybė yra ne tik patogi jo išėjimo signalo forma (nulis atitinka nominalią parametro vertę, o paklaidos signalas rodo nuokrypio dydį ir ženklą), bet ir didelis atsparumas daugelio tipų trukdžiams. Kaip parodė metodo analizė [2], tinkamai parinkus sinchroninio detektoriaus tipą ir darbo režimą, galima labai sumažinti netiesinių iškreipimų (galios stiprintuvų, spindulių ar imtuvo charakteristikų netiesiškumo) įtaką. Jei šie iškreipimai (aukštesniosios kintamos signalo dedamosios harmonikos) abiejuose kanaluose identiški, jie kompensuojasi, o jei neidentiški – paklaidai turi įtakos tik nekompensuotos lyginės harmonikos. Trumpalaikiai atsitiktiniai trikdžiai taip pat neturi liekamosios įtakos įtaiso darbui.

Įgyvendinant metodą konkrečios paskirties įtaisuose, šie skiriasi tik diferencinio signalo formuotuvais, kurių struktūrą nulemia objekto ir kontroliuojamojo parametro ypatumai. Elektroniniai blokai juose yra tokie pat. Be to, įtaisų išėjimuose tiesiogiai gaunamas elektrinis signalas, proporcingai besikeičiantis į vieną ar kitą pusę nukrypęs nuo kontroliuojamojo parametro. Tai leidžia nesunkiai integruoti tokius įtaisy į automatinės valdymo ir kontrolės sistemas.

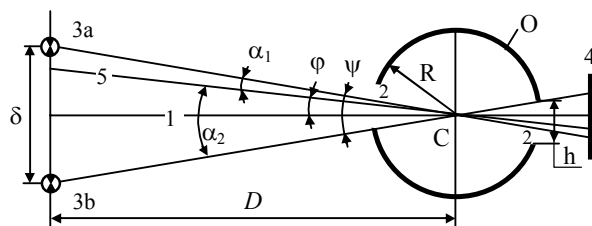
Objekto orientavimo jutiklis

Aprašytasis diferencinis metodas panaudotas įtaise, skirtame objektui orientuoti nurodyta kryptimi [3].



1 pav. Diferencinio įtaiso struktūrinė schema

Įtaiso geometrinė optinė schema pateikta 2 pav. Čia objekto O orientacija nusakoma linija 5, einančia per tam tikrų žymių – pločio h reperinių angų 2, suformuotų cilindrinėje spindulio R detalėje, centrą. Kryptis, kuria turi būti orientuotas objektas, nusakoma ašimi 1 ir greta jos atstumu L nuo objekto ir vienodu atstumu nuo ašies 1 išdėstytais optiniais šaltiniais 3a ir 3b, moduluotais tarpusavyje priešingos fazės sinusiniu signalu.



2 pav. Diferencinės justavimo sistemos geometrinė optinė schema

Atstumas δ tarp šviesos šaltinių gali būti apibūdinamas ir kampui ψ , kuriuo šaltiniai matomi iš objekto orientavimo centro C. Praėję pro objekto reperines angas, šaltinių spinduliai patenka į fotoimtuvą 4 ir jame sumuojami.

Kai objekto krypties ašis 5 sutampa su orientavimo ašimi 1, fotoimtuvas priima vienodus spindulių srautus iš abiejų šaltinių. Šių šaltinių sinusinės dedamosios tarpusavyje kompensuojasi, ir fotoimtuvo išėjimo signalas tampa lygus nuliui. Pasukus objektą ir nesutampant reperinių angų simetrijos ašiai 5 su orientavimo ašimi 1, šaltiniai priimami nevienodai ir fotoimtuvo išėjime atsiranda sinusinė signalo dedamoji, kurios fazė rodo objekto pasukimo nuo orientavimo ašies kryptį, o amplitudė yra proporcinga (tam tikrose ribose) orientavimo paklaidai – kampui φ tarp orientavimo ašies ir objekto krypties ašies.

Vertinant jutiklio jautrį, buvo analizuojamos optinės geometrinės įtaiso savybės. Pagrindinė charakteristika, aprašanti optines geometrinės įtaiso savybes, yra jo perdavimo charakteristika $G(\varphi)$, aprašanti išėjimo signalo G priklausomybę nuo orientavimo kampo φ . Iš šios charakteristikos apskaičiuojamas įtaiso jautris S . Jis apibūdinamas krypties charakteristikos nuolydžiu taško $\varphi = 0$ aplinkoje:

$$S = \left. \frac{d(G(\varphi))}{d\varphi} \right|_{\varphi \rightarrow 0} \quad (3)$$

Įtaiso perdavimo charakteristika gali būti išreikšta per kitą jo charakteristiką – šviesos šaltinių svorinę charakteristiką $W(\alpha)$, aprašančią vieno šviesos šaltinio šviesos, praėjusios pro reperines angas, srauto priklausomybę nuo kampo α tarp objekto orientavimo krypties ašies 5 ir spindulio iš šviesos šaltinio į objekto centrą C (2 pav.):

$$G(\varphi) = W(\alpha_1) - W(\alpha_2) = W(\varphi - \psi/2) - W(\varphi + \psi/2), \quad (4)$$

čia ψ – kampas tarp šviesos šaltinių spindulių į objekto centrą C; α_1, α_2 – kampo α vertės 3a ir 3b šaltiniams.

Sudarant geometrinę sistemos modelį $W(\alpha)$ ir $G(\varphi)$ apskaičiuoti, laikoma, kad:

a) pro visas reperines angas parėjęs šviesos srautas patenka į imtuvą, kuris registruoja srauto sinusines dedamąsias, tiksliau – jų skirtumą;

b) realiai sistemos matmenys susieti nelygybėmis $D \gg R \gg h$ (2 pav. vaizdumo dėlei mastelio nesilaikyta). Todėl kampai ψ , φ yra maži, ne didesni kaip $2^\circ \dots 3^\circ$.

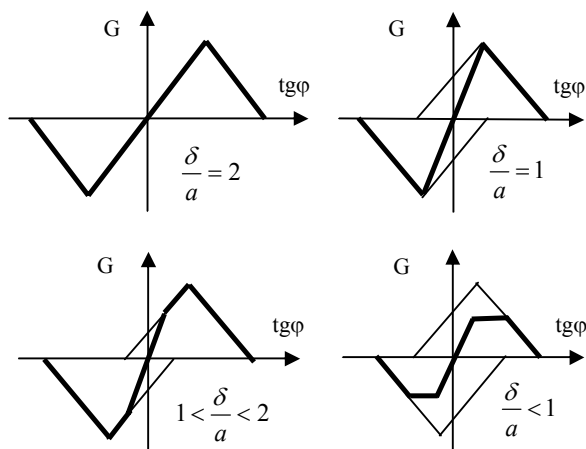
Analizuojant taip sudarytą modelį, gauta [3], kad šviesos šaltinių svorinė charakteristika parametro $\text{tg}\varphi$ atžvilgiu gali būti aproksimuota trikampė funkcija (3 pav. pavaizduota plona linija), o įtaiso krypties charakteristika – gabalais tiesine funkcija, kurios forma priklauso nuo atstumo tarp šviesos šaltinių δ santykio su sistemos geometrinės charakteristikos apibūdinančiu išvestiniu parametru $a = \frac{Dh}{2R}$ (2 pav.). Čia h – reperinės angos plotis, $2R$ – atstumas tarp reperinių angų ir D – atstumas nuo objekto centro iki spinduliavimo šaltinio.

Analizuojant įtaiso jautrį S , apibūdinamą perdavimo charakteristikas statumu taško $\text{tg}(\varphi) = 0$ aplinkoje, nustatyta, kad sistemos jautrio požiūriu šaltinių 3a ir 3b išdėstymas yra optimalus, kai atstumas tarp jų yra lygus $Dh/2R$. Esant tokiam optimaliam šaltinių išdėstymui, jutiklio jautrumas $S = 4R/D$.

Jutiklio darbo paklaidų priežastis gali būti spindulių 3a ir 3b spinduliavimo kintamų dedamųjų amplitudžių i_a ir i_b nevienodumas. Tai įvertinę koeficientu γ , tarsime, kad $i_a = \gamma \cdot i_b$. Tada išsprendus lygtį $G(\varphi) = 0$, galima nustatyti atsirandančią paklaidą $\Delta\varphi$:

$$\Delta\varphi = (\gamma - 1)h / (\gamma + 1)4R. \quad (5)$$

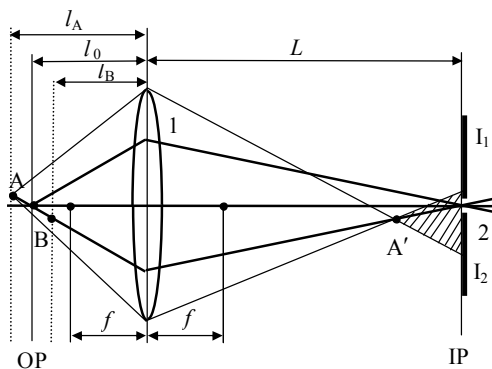
Pasiūlytas ir ištirtas objekto tikslaus orientavimo pagal reperines angas metodas įdiegtas Panevėžio AB „Ekranas“ spalvotojo kineskopo elektroninei optinei sistemai justuoti plyšinės kaukės atžvilgiu kineskopo surinkimo metu.



3 pav. Perdavimo charakteristikos, esant įvairiems atstumams tarp šviesos šaltinių

Paviršiaus jutiklis

Nekontaktinis paviršiaus jutiklis yra skirtas paviršiaus atstumui nuo jutiklio kontroliuoti. Įtaiso optinė schema pateikta 4 pav. Jame panaudotas glaudžiamasis lęšis 1, kurio židinio nuotolis f . Pro šaltinio imtuvo plokštumos IP diafragmos, nutolusios atstumu $L > f$ nuo lęšio, angą 2, esančią sistemos optinėje ašyje, į lęšį ateina du siauri meridianiniai šviesos šaltinių 3a ir 3b spinduliai.



4 pav. Paviršiaus jutiklio optinė schema

Šviesos šaltiniai yra moduluoti priešingų fazių sinusiniais signalais. Šaltinio imtuvo plokštumoje IP, priešingose optinės ašies pusėse, yra įtaisyti imtuvai I_1 ir I_2 , kurie registruoja nuo objekto atsispindėjusius grįžtančius spindulius.

Įtaiso veikimui paaiškinti pakanka nagrinėti vieną spindulį. Praėjęs pro diafragmos angą 2 ir lūžęs lęšyje 1, spindulys kirs sistemos optinę ašį kitoje lęšio pusėje taške, nutolusiame atstumu l_0 ($l_0 > f$) nuo jo. Jei naudojami abu spinduliai, jie tame taške susikirs.

Jei kontroliuojamo objekto paviršius bus atstumu l_0 nuo lęšio (plokštuma OP), spindulys tame paviršiuje sudarys švytintį tašką. Šis švytintis taškas, kaip antrinis šviesos šaltinis, projektuosis atgal į plokštumos IP centrą (diafragmos angą) ir į imtuvus nepateks arba apšvies abu imtuvus vienodai. Todėl diferencinis išėjimo signalas bus lygus nuliui. Objekto paviršiui esant atstumu $l_A < l_0$, spindulio projekcija pasislinks aukštyn (taškas A, 4 pav.). Šio taško atvaizdas A' fokusuosis šaltinio spindulio trajektorijoje prieš plokštumą IP ir todėl žemiau sistemos optinės ašies. Išfokusuotas švytinčio taško atvaizdas projektuosis daugiau į apatinį imtuvą I_2 (užbrūkšniuoto ploto dengiama dalis, 4 pav.).

Jei atstumas $l_B < l_0$, spindulio projekcijos (taško B) atvaizdas fokusuosis spindulio tęsinyje už šaltinio imtuvo plokštumos (taškas B') ir pateks daugiau į imtuvą I_1 . Diferencinis išėjimo signalas bus priešingo ženklo negu ankstesniu atveju.

Nors jutiklio veikimui užtikrinti pakaktų ir vieno šviesos spindulio, tačiau, naudojant du spindulius, ištiesinama jutiklio charakteristika ir padidinamas jo jautris bei atsparumas trukdžiams.

Įtaiso jautrio analizei panagrinesime tiesioginio Tg ir grįžtančiojo Gr spindulių kelią optinėje sistemoje (5 pav.). Meridianinis tiesioginis spindulys Tg, kampu φ su

sistemos optine ašimi praėjęs pro šaltinio imtuvo diafragmą plokštumoje IP, pasieks glaudžiamąjį lęšį atstumu $r_T = L \tan \varphi$ nuo ašies.

Jei į ploną teigiamą (glaudžiamąjį) lęšį, kurio židinio nuotolis f , atstumu r_1 nuo jo optinės ašies krinta meridianinis spindulys, sudarantis kampą φ_1 su jo optine ašimi ir turintis nuolydį $k_1 = \tan \varphi_1$, tai lūžęs lęšyje, spindulys išeis iš jo atstumu r_2 ir nuolydžiu $k_2 = \tan \varphi_2$. Spindulio parametrai r_2 ir k_2 yra susieti matricine lygtimi [4]:

$$\begin{bmatrix} r_2 \\ k_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{f} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_1 \\ k_1 \end{bmatrix}. \quad (6)$$

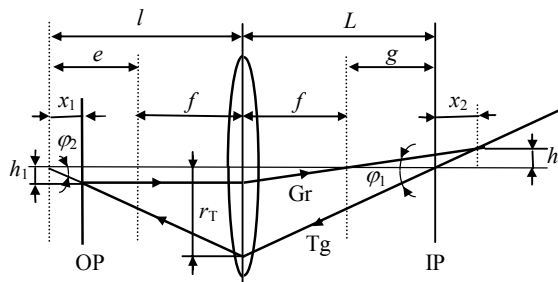
Naudodamiesi šia lygtimi ir atsižvelgdami į tai, jog plono lęšio $r_1 = r_2 = r_T$, rasime atstumą l , kuriame tiesioginis spindulys kitoje lęšio pusėje kerta sistemos optinę ašį:

$$l = \frac{r_2}{k_2} = \frac{L f}{f - L}. \quad (7)$$

Visi spinduliai, išėję iš taško, esančio optinėje ašyje ir nutolusio atstumu L nuo lęšio, kirs sistemos optinę ašį kitoje lęšio pusėje atstumu l , nes šis atstumas visiškai nepriklauso nuo spindulių kritimo į lęšį kampo. Todėl galima naudoti šviesos šaltinius, formuojančius gana plačius spindulių pluoštus.

Įtaiso grįžtančiojo spindulio skaičiavimas tiesiogiai priklauso nuo tiriamo objekto plokštumos (OP) padėties įtaiso atžvilgiu. Kai objekto plokštuma nėra nominalioje padėtyje, o yra pasislinkusi atstumu $\pm x_1$, tai priklausomai nuo poslinkio krypties atsispindėjęs grįžtantysis spindulys kerta tiesioginį krintantįjį žemiau arba aukščiau sistemos optinės ašies.

Panagrinesime atvejį, kai objekto plokštuma yra pasislinkusi link lęšio atstumu x_1 (5 pav.). Tuomet krintantis tiesioginis spindulys atsispindi OP paviršiuje atstumu h_1 žemiau sistemos optinės ašies. Atsispindėjęs grįžtantis spindulys projektuojasi tiesioginio spindulio tęsinyje atstumu x_2 už IP diafragmos ir atstumu h_2 virš sistemos optinės ašies (tiksliau, projektuotąsi, jei IP diafragma jo neužstotų).



5 pav. Jutiklio spindulių trajektorijos

Surasime atstumo h_2 priklausomybę nuo poslinkio x_1 . Atstumas $h_1 = k_2 x_1$. Be to, atsižvelgdami į tai, kad $L = (f + g)$, iš (3) gauname:

$$h_1 = x_1 k_1 \frac{g}{f}. \quad (8)$$

Vaizdo atstumas nuo optinės ašies yra $h_2 = \omega h_1$, kai $\omega = f / (e - x_1)$ yra optinis didinimas. Atlikę nesudėtingus pertvarkymus, gauname, kad vaizdas susifokusuos atstumu x_2 nuo šaltinio ir imtuvo plokštumos diafragmos ir bus atstumu

$$h_2 = \omega h_1 = \frac{x_1 k_1 g^2}{f^2 - bx} \quad (9)$$

virš optinės ašies.

Atstumo h_2 pokyčio santykis su jį sukėlusiu pokyčiu x_1 yra jutiklio jautris S :

$$S = \frac{\Delta h_2}{\Delta x_1} \Big|_{\Delta x_1 \rightarrow 0} = \frac{dh_2}{dx_1} \approx \frac{g^2}{f^2} k_1 = \frac{k_1}{v^2}, \quad (10)$$

kai $v = f / g$ – išilginis lęšio didinimas.

Aptartas nekontaktinis automatinis paviršiaus jutiklis tinkamas labai tiksliai indikuoti atstumui iki mechaniniam poveikiui jautrių paviršių. Kadangi įtaiso jautrumas atvirkščiai proporcingas jame panaudoto lęšio židinio nuotoliui, metodas tikslesnis, kai indikuojami atstumai nedideli. Indikuojamam paviršiui specialių reikalavimų nekeliama, jis gali būti ir gana mažas, tačiau pakankamai gerai atspindintis šviesą.

Išvados

1. Sukurti diferenciniai nekontaktiniai jutikliai, reaguojantys į kontroliuojamo parametro nuokrypį nuo

nominalios vertės. Jutikliai realizuojami optinėmis elektroninėmis priemonėmis, panaudojant priešingomis fazėmis moduluotus optinio signalo šaltinius. Elektroninių signalų apdorojimo blokas gali būti unifikuotas ir naudojamas skirtinguose tokio tipo jutikliuose.

2. Teigiama diferencinio metodo savybė yra ne tik patogi jo išėjimo signalo forma (nulis atitinka nominalią parametro vertę, o paklaidos signalas rodo nuokrypio dydį ir ženklą), bet ir didelis atsparumas daugelio tipų trukdžiams.

3. Pasiūlytas metodas objektui tiksliai justuoti pagal reperines angas ir sudarytas jo analizinis matematinis modelis, leidžiantis įvertinti jautrumą bei paklaidas ir jų priklausomybę nuo sistemos optinių charakteristikų. Gautos analizinės išraiškos, leidžiančios optimizuoti projektuojamo įtaiso parametrus ir minimizuoti paklaidas.

4. Pateikto nekontaktinio paviršiaus jutiklio jautrumas proporcingas kampui, kuriuo šaltinio spinduliai kerta sistemos ašį, ir atvirkščiai proporcingas išilginiam sistemos didinimui. Įtaisą tikslinga naudoti, kai atstumas iki indikuojamo paviršiaus nedidelis.

Literatūra

1. **Rascher M., Klemmt H.** Lichtschranken: Anwendungen in der industriellen Automation.– Heidelberg: Huthing, 1987. – 122 S.
2. **Bartkevičius V., Dosinas A., Čelkis D.** Justavimo įtaiso paklaidų analizė // Elektronika ir automatika – 1995, Nr.2. – P. 62–66.
3. **Bartkevičius V., Dosinas A., Valickas J.** Diferencinis spalvinio kineskopo EOS justavimo metodas s // Radioelektronika, 1994. – T.30, Nr.1. – P. 159–170.
4. **Яриев А.** Введение в оптическую электронику. – Москва. Высшая школа. 1983. –398 с.

Pateikta spaudai 2005 05 23

V. Bartkevičius, A. Dosinas, J. Daunoras. Diferencinio metodo taikymas indikaciniams jutikliams // Elektronika ir elektrotechnika. – Kaunas: Technologija, 2005. – Nr. 8(64). – P. 51–54.

Nagrinėjamas nekontaktinių diferencinių indikacinių jutiklių sudarymo metodas, pagrįstas dviejų priešingomis fazėmis moduluotų šviesos ar infraraudonųjų spindulių pluoštų naudojimu. Pasiūlytas metodas atsparus daugeliui tipų trukdžių. Šiuo metodu pagrįstų įvairios paskirties jutiklių realizavimui pateikta universali elektroninio bloko struktūra. Straipsnyje pasiūlytos dviejų jutiklių realizacijos. Pirmasis jutiklis skirtas objektui tiksliai orientuoti reikiama kryptimi, naudojant objekto reperines angas. Antrasis jutiklis skirtas nustatyti atstumo iki objekto paviršiaus tiksliai indikacijai. Pateikta šių jutiklių jautrio analizė. Il. 5, bibl. 4 (lietuvių kalba; santraukos lietuvių, anglų ir rusų k.).

V. Bartkevičius, A. Dosinas, J. Daunoras. Differential Method for Indication Sensors // Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, 2005. – No. 8(64). – P. 51–54.

There is analyzed the design method of non-contact differential indication sensors, which is based on the usage of the two beams of light or infrared rays modulated by opposite phases. The suggested method is resistant to many types of disturbances. The universal electronic block structure is given for realization of different purpose sensors based on this method. Two realizations of the sensors are offered in the article. The first sensor is meant for the object to be precisely orientated towards the necessary direction when using the benchmark holes of the object. The second sensor is meant for the precise indication of the indicated distance to the surface of the object. The sensitivity analysis of these sensors is given in the article. Ill. 5, bibl. 4 (in Lithuanian; summaries in Lithuanian, English and Russian).

В. Баркявичюс, А. Досинас, И. Даунорас. Дифференциальный метод для индикационных датчиков // Электроника и электротехника. – Каунас: Технология, 2005. – № 8(64). – С. 51–54.

Рассматривается метод построения неконтактных индикаторных дифференциальных датчиков основанный на использовании двух противофазно модулированных пучков световых или инфракрасных лучей. Метод отличается высокой помехоустойчивостью. Для реализации предложенного метода в различных датчиках разработана универсальная структура электронного блока. В статье рассмотрены реализации двух датчиков такого типа. Первый датчик предназначен для точного ориентирования объекта по заданному направлению используя реперные отверстия в объекте. Второй датчик предназначен для индикации заданного расстояния до поверхности объекта. Приведен анализ чувствительности этих датчиков. Ил.5, библи.4 (на литовском языке; рефераты на литовском, английском и русском яз.).