

(12)

## CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2022 00235

(22) Data de depozit: 06/05/2022

(41) Data publicării cererii:  
30/01/2023 BOPI nr. 1/2023

(71) Solicitant:  
• INSTITUTUL NAȚIONAL DE  
CERCETARE-DEZVOLTARE PENTRU  
MECATRONICĂ ȘI TEHNICA MĂSURĂRII -  
INCDMTM BUCUREȘTI,  
ȘOS. PANTELIMON NR.6-8, SECTOR 2,  
BUCUREȘTI, B, RO

(72) Inventatori:  
• STANCIU DĂNUȚ IULIAN, STR.MIEILOR,  
NR.22, BL.224, ET.1, AP.16, SECTOR 2,  
BUCUREȘTI, B, RO;

• CIOBOATĂ DANIELA DOINA,  
ȘOS.ȘTEFAN CEL MARE, NR.35, BL.31,  
SC.3, ET.2, AP.85, SECTOR 2,  
BUCUREȘTI, B, RO;  
• LOGOFĂTU CRISTIAN CONSTANTIN,  
STR. HATMANUL ARBORE NR. 3-7, BL. A,  
ET. 7, AP. 43, SECTOR 1, BUCUREȘTI, B,  
RO;  
• NICOLAE NICUȘOR, STR. VAPORUL LUI  
ASSAN, NR.4, BL.4, SC.1, ET.2, AP.8,  
SECTOR 2, BUCUREȘTI, B, RO

## (54) TRADUCTOR DE DEPLASARE LINIARĂ CU REZOLUȚIE NANOMETRICĂ

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un traductor de deplasare liniară cu rezoluție nanometrică ce are la bază un interferometru Mach-Zehnder alcătuit din două oglinzi ( $O_1$  și  $O_4$ ) semitransparente, două oglinzi ( $O_2$  și  $O_3$ ) cu reflexie totală și din doi detectori (A, B) fotoelectrici. Traductorul conform invenției cuprinde o tijă (1) de palpăre lăgăruită pe niște lagăre (4) pe care este poziționat un platou (2) pe care se găsesc niște oglinzi ( $O_6$ ,  $O_7$ ,  $O_{10}$ ,  $O_{11}$ ) mobile și un șurub (3) micrometric. Prin deplasarea oglinzilor ( $O_6$ ,  $O_7$ ,  $O_{10}$ ,  $O_{11}$ ) mobile se modifică lungimea traseului luminos a uneia dintre ramurile interferometrului Mach-Zehnder și, la recombinarea traseelor luminoase, va apărea o diferență de fază care este recepționată de detectorii (A, B) fotoelectrici ca o variație luminoasă ce variază sinusoidal cu lungimea de undă ( $\lambda$ ) a luminii generate de o sursă luminoasă ( $S_A$ ,  $S_B$ ).

Revendicări: 2

Figuri: 3

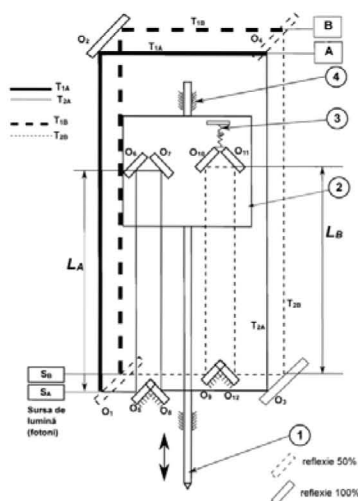


Fig. 2

Cu începere de la data publicării cererii de brevet, cererea asigură, în mod provizoriu, solicitantului, protecția conferită potrivit dispozițiilor art.32 din Legea nr.64/1991, cu excepția cazurilor în care cererea de brevet de invenție a fost respinsă, retrasă sau considerată ca fiind retrasă. Întinderea protecției conferite de cererea de brevet de invenție este determinată de revendicările conținute în cererea publicată în conformitate cu art.23 alin.(1) - (3).



### Traductor de deplasare liniară cu rezoluție nanometrică

Traductorul de deplasare cu rezoluție nano-metrică are la bază interferometrul Mach-Zehnder care măsoară abaterea de fază dintre două raze de lumină, ca în figura 1.

Interferometrul Mach-Zehnder (fig. 1)<sup>[1]</sup> este compus din două oglinzi semitransparente (50% transmisie, 50% reflexie) O<sub>1</sub> și O<sub>2</sub>, două oglinzi cu reflexie totală O<sub>2</sub> și O<sub>3</sub> și doi detectori fotoelectrici A și B.

La trecerea prin oglinda semitransparentă O<sub>1</sub> lumina este împărțită în două raze de lumină care vor parcurge traseele T<sub>1</sub> și T<sub>2</sub> (fig. 1).

Pentru oricare dintre traseele T<sub>1</sub> și T<sub>2</sub> lumina va suporta 2 tipuri de schimbări de fază<sup>[1]</sup>:

1. la contactul dintre raza de lumină și o suprafață reflectoare lumina suferă de o schimbare de fază cu valoarea  $\pi$
2. în funcție de distanța parcursă lumina va suferi de o schimbare de fază  $\frac{2\pi l}{\lambda}$ , unde l reprezintă distanța parcursă iar  $\lambda$  lungimea de undă a luminii folosite.

Astfel pentru traseele T<sub>1</sub> și T<sub>2</sub> prezentate în figura 1 vom avea următoarele schimbări de fază

- pentru traseul T<sub>1</sub> către detectorul A, variația de fază este:

$$\pi + \pi + \frac{2 \cdot \pi \cdot l_1}{\lambda} + \frac{2 \cdot \pi \cdot t}{\lambda} = 2\pi + 2\pi \left( \frac{l_1 + t}{\lambda} \right) \quad [1]$$

unde:

- l<sub>1</sub> - lungimea traseului T<sub>1</sub>
- t – lungimea traseului optic prin oglinda semitransparente O<sub>4</sub>
- $\lambda$  - lungimea de undă a luminii folosite

- pentru traseul T<sub>2</sub> către detectorul A variația de fază este

$$\frac{2 \cdot \pi \cdot t}{\lambda} + \pi + \pi + \frac{2 \cdot \pi \cdot l_2}{\lambda} = 2\pi + 2\pi \left( \frac{l_2 + t}{\lambda} \right) \quad [2]$$

unde:

- l<sub>2</sub> - lungimea traseului T<sub>2</sub>
- t – lungimea traseului optic prin oglinda semitransparente O<sub>1</sub>
- $\lambda$  - lungimea de undă a luminii folosite

Folosind formulele [1] și [2], diferența de fază dintre cele două trasee ce rezultă prin recompunerea razelor de lumină T<sub>1</sub> și T<sub>2</sub> pe oglinda O<sub>4</sub> este:<sup>[1]</sup>

$$\delta f = 2\pi + 2\pi \left( \frac{l_1 + t}{\lambda} \right) - 2\pi - 2\pi \left( \frac{l_2 + t}{\lambda} \right) = 2\pi \left( \frac{l_1 - l_2}{\lambda} \right) \quad [3]$$

Din formula [3] se observă că diferența de fază va avea o valoare periodică, cu perioada  $\lambda$  (lungimea de undă a luminii folosite), iar această periodicitate stă la baza construcției traductorului de deplasare prezentat.

Traductorul de deplasare cu rezoluție nanometrică, prezentat în figura 2, este compus din tija de palpare 1, lăgăruită pe lagărele 4, pe care este poziționat platoul 2 și pe care se află oglinzile mobile  $O_6, O_7, O_{10}, O_{11}$  și șurubul micrometric 3.

Traductorul are în componență 2 trasee de măsurare a abaterii de fază astfel.

- Primul traseu este compus din:

Sursa de lumină  $S_A$  generează la intersecția cu oglinda semitransparentă  $O_1$  două trasee luminoase:  $T_{1A}$  și  $T_{2A}$ ;

Traseul  $T_{1A}$  obținut din reflexia pe oglinda  $O_1$  se reflectă apoi pe oglinda  $O_2$  și va interfera cu traseul  $T_{2A}$  pe oglinda  $O_4$ .

Diferența de fază introdusă de traseul  $T_{1A}$  este

$$\delta f_{T_{1A}} = 2\pi + 2\pi \left( \frac{l_{1A} + t}{\lambda} \right)$$

Traseul  $T_{2A}$  este obținut din raza inițială a sursei  $S_A$  ca și componentă nereflectată, se reflectă pe oglinzile  $O_5, O_6, O_7, O_8, O_3$  și se recombina cu traseul  $T_{1A}$  pe oglinda semitransparentă  $O_4$ .

Diferența de fază introdusă de traseul  $T_{2A}$  este:

$$\delta f_{T_{2A}} = 6\pi + 2 \cdot \pi \left( \frac{l_{2A} + t}{\lambda} \right)$$

unde:

$l_{1A}$  – lungimea traseului optic  $T_{1A}$

$l_{2A}$  – lungimea traseului optic  $T_{2A}$

$\lambda$  – lungimea de undă a luminii folosite

Diferența de fază totală pe receptorul (fotodioda) A este:

$$\delta f_A = 2\pi \left( \frac{l_{1A} - l_{2A}}{\lambda} \right) - 4\pi \quad [4]$$

Obs.  $4\pi$  este o constantă care nu influențează funcționarea traductorului, în continuare  $\delta f$  este periodică cu  $\lambda$ .

- Al doilea traseu este compus din:

Sursa de lumină  $S_B$  generează tot la intersecția cu oglinda semitransparentă  $O_1$  două trasee luminoase:  $T_{1B}$  și  $T_{2B}$ .

Traseul  $T_{1B}$  obținut de reflexia pe oglinda  $O_1$  se reflectă apoi pe oglinda  $O_2$ , trece prin oglinda

O<sub>4</sub> și ajunge la detectorul B.

Diferența de fază introdusă de traseul T<sub>1B</sub> este:

$$\delta f_{T_{1B}} = 2\pi + 2\pi \left( \frac{l_{1B} + t}{\lambda} \right)$$

Taseul T<sub>2B</sub> este obținut din raza inițială a sursei S<sub>B</sub> ca și componentă nereflectată, se reflectă pe oglinzile O<sub>9</sub>, O<sub>10</sub>, O<sub>11</sub>, O<sub>12</sub>, O<sub>3</sub> și se recombune cu traseul T<sub>1A</sub> pe oglinda semitransparentă O<sub>4</sub>.

Diferența de fază introdusă de traseul T<sub>2B</sub> este:

$$\delta f_{T_{2B}} = 6\pi + 2 \cdot \pi \left( \frac{l_{2B} + t}{\lambda} \right)$$

unde:

l<sub>1B</sub> – lungimea traseului optic T<sub>1B</sub>

l<sub>2B</sub> – lungimea traseului optic T<sub>2B</sub>

λ – lungimea de undă a luminii folosite

Diferența de fază totală pe receptorul (fotodioda) B este:

$$\delta f_B = 2\pi \left( \frac{l_{1B} - l_{2B}}{\lambda} \right) - 4\pi \quad [5]$$

Din formula 4 se observă că diferența de fază este proporțională cu diferența (l<sub>1A</sub>-l<sub>2A</sub>) care la rândul ei este influențată de valoarea cotei L<sub>A</sub> (fig. 2), iar din formula 5 se observă că diferența de fază este proporțională cu diferența (l<sub>1B</sub>-l<sub>2B</sub>) care la rândul ei este influențată de valoarea cotei L<sub>B</sub> (fig. 2).

Prin variația lungimii L<sub>A</sub> se obține o variație periodică sinusoidală a semnalului la detectorul A variație periodică cu λ/2 (deoarece pe lungimea cotei L<sub>A</sub> lumina parcurge un interval de 2 ori mai mare)

Dacă L<sub>A</sub> este egală cu L<sub>B</sub> și aflate în fază (prin alegerea corectă a cotelor constructive) cele 2 semnale vor fi în fază, dar atunci nu vom avea informații referitoare la direcția de deplasare a traductoarelor. Pentru a elimina acest neajuns, din șurubul micrometric 3, fig. 1, se reglează poziția oglinzilor O<sub>10</sub> și O<sub>11</sub> astfel încât lungimea celor 2 trasee luminoase să difere cu λ / 4 (practic trebuie ca cele 2 oglinzi O<sub>10</sub>, O<sub>11</sub> să fie deplasate cu λ/8) obținând astfel o defazare de 90 de grade dintre cele 2 trasee luminoase (ca în figura 3c).

Prelucrarea semnalelor se face ca în figura 3: semnalele de la receptoarele (fotodiodele) A și B, prezentate în figura 3a, 3c sunt transformate cu ajutorul unui trigger schmitt în semnale dreptunghiulare (figura 3b, 3d). În continuare din cele 2 semnale dreptunghiulare se poate face o subdivizare cu 4 ca în figura 3e (această schemă de prelucrare este uzual folosită la traductoarele incrementale de deplasare sau de rotație)

Ca un exemplu practic, prin folosirea unui diode laser, uzuală, de culoare violet (λ=405 nm) ca sursă de lumină și prin aplicarea unei prelucrări ca în figura 3e se obține o rezoluție a traductorului

de 50.62 nm.

Rezoluția se poate mări în continuare prin aplicarea unei prelucrări analog - digitale semnalelor sinusoidale prezentate în figura 3a și 3b putându-se astfel obține divizări arbitrare, corespunzătoare cu rezoluția dorită (de exemplu pentru divizări cu 128 sau cu 256 și cu o lungime de undă  $\lambda=405\text{nm}$  se pot obține rezoluții de 1,58 nm sau 0,79nm).

Principalul avantaj al acestui traductor îl reprezintă simplitatea constructivă ceea ce duce la prețuri de cost foarte mici raportate la precizia obținută.

Un mic dezavantaj în reprezintă faptul ca incrementul rezultat nu are valori numerice rotunde, dar acest neajuns este depășit ușor datorită prelucrărilor digitale actuale.

### Bibliografie

1 - K. P. Zetie, S. F. Adams, R. M. Tocknell, How does a Mach–Zehnder interferometer work, Physics Department, Westminster School, London SW1 3PB, UK,  
[https://www.cs.princeton.edu/courses/archive/fall06/cos576/papers/zetie\\_et\\_al\\_mach\\_zehnder00.pdf](https://www.cs.princeton.edu/courses/archive/fall06/cos576/papers/zetie_et_al_mach_zehnder00.pdf)

## Revendicări

1. Traductorul cu rezoluție nanometrică este caracterizat de obținerea unei rezoluții nanometrice prin variația lungimii uneia dintre ramurile optice ale unui interferometrul Mach-Zehnder astfel încât la detectorul optic vom obține un semnal variabil sinusoidal cu perioada de  $\lambda$  (unde  $\lambda$  este lungimea de undă a luminii folosite), semnal care este totodată proporțional cu deplasarea tijei de palpare.

2 Traductorul cu rezoluție nanometrică folosește un al doilea circuit optic, identic cu cel prezentat la punctul 1, dar la care, prin introducerea unei lungime constructive suplimentare traseului luminos variabil, avem un traseul luminos variabil mai lung cu  $\lambda/4$  ceea ce va duce la o variație de fază de 90 de grade dintre cele 2 detectoare. Prin acest al doilea semnal vom putea, prin prelucrări electronice ulterioare, să detectăm direcția de deplasare a traductorului.

Conform revendicărilor 1 și 2 Traductorul de deplasare descris în prezenta invenție va permite obținerea unei rezoluții de ordin nanometric (proporțională cu lungimea de undă a luminii folosite) rezoluție care se poate îmbunătăți ulterior prin aplicarea de prelucrări specifice (analogice și/sau digitale) aplicate celor 2 semnale sinusoidale sau dreptrunghiulare obținute .

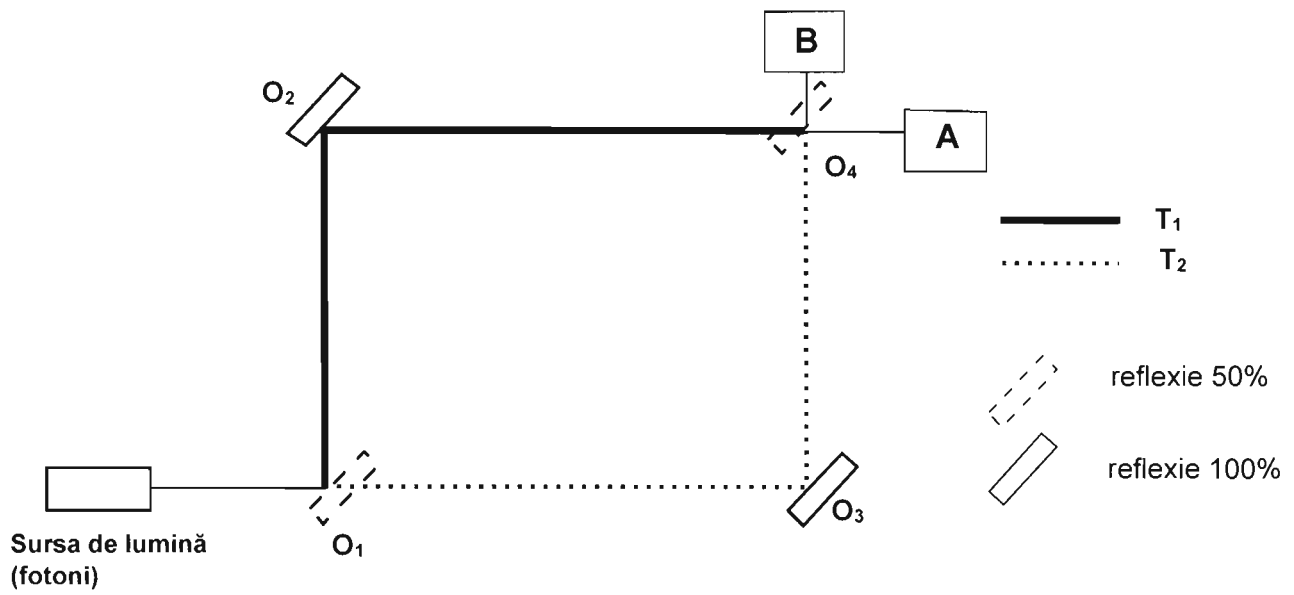


Figura 1: Schema de funcționare a interferometrului Mach-Zehnder

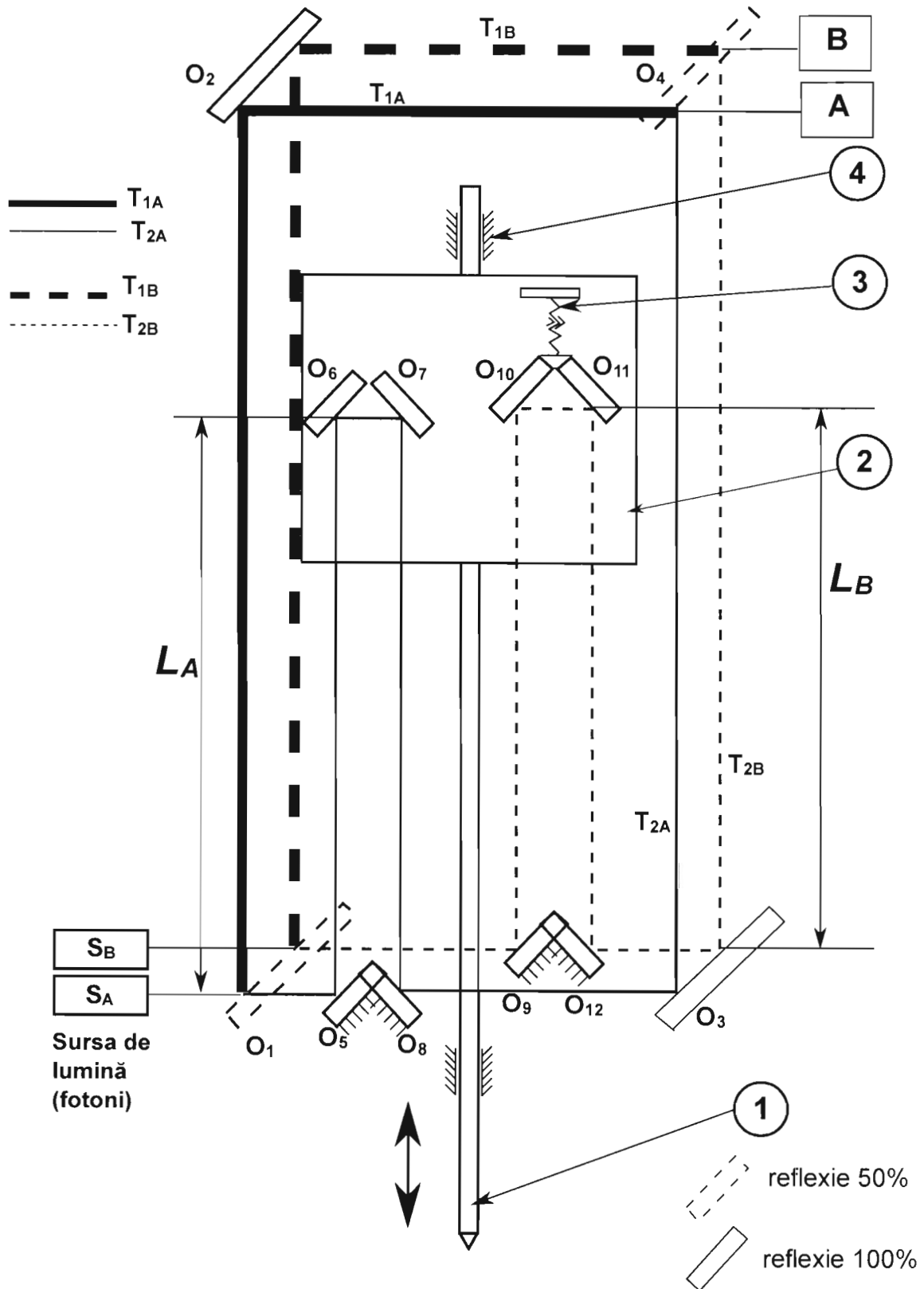


Figura 2: Traductorul de deplasare cu rezoluție nanometrică



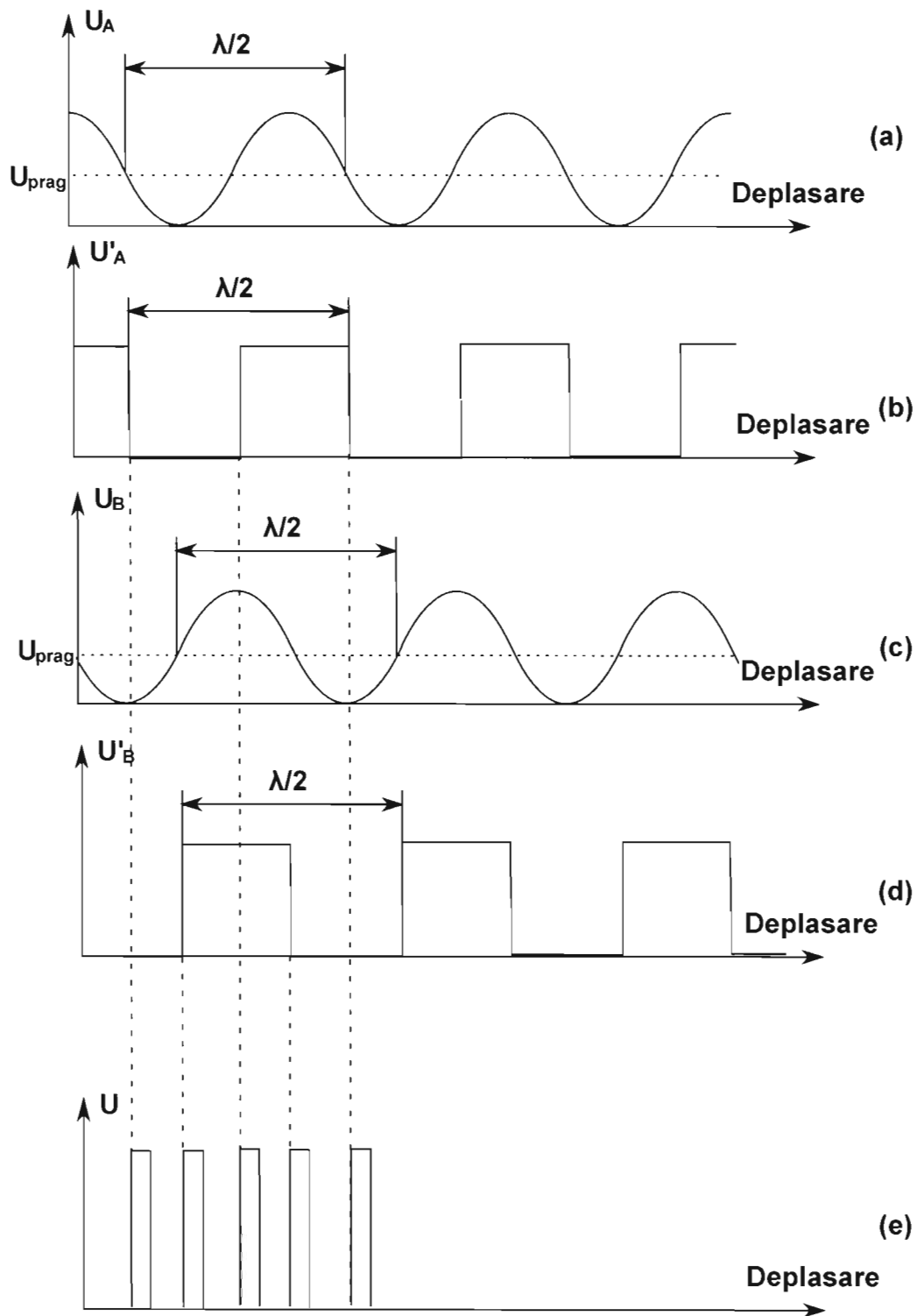


Figura 3: Prelucrare semnale traductor de deplasare cu rezoluție nanometrică