

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **241311**
(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **433118**

(22) Data zgłoszenia: **02.03.2020**

(51) Int.Cl.

G01B 11/16 (2006.01)

G01B 21/00 (2006.01)

G01L 1/24 (2006.01)

G01B 7/00 (2006.01)

(54) **Mechaniczny przetwornik do pomiaru przemieszczenia liniowego,
zwłaszcza kompensatora rurociągu i sposób jego pomiaru**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:
06.09.2021 BUP 23/21

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:
05.09.2022 WUP 36/22

(73) Uprawniony z patentu:

POLITECHNIKA ŚLĄSKA, Gliwice, PL

(72) Twórca(y) wynalazku:

DANIEL ADAMECKI, Gliwice, PL
GRZEGORZ GŁUSZEK, Pyskowice, PL
WOJCIECH KOSTOWSKI, Gliwice, PL
ERWIN MACIAK, Gliwice, PL
ZBIGNIEW OPILSKI, Gliwice, PL
TADEUSZ PUSTELNY, Gliwice, PL

(74) Pełnomocnik:

rzecz. pat. Katarzyna Borkowy

PL 241311 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest mechaniczny przetwornik do pomiaru przemieszczenia liniowego, zwłaszcza kompensatora i sposób jego pomiaru, mający zastosowanie do pomiaru wydłużenia osiowo symetrycznych konstrukcji przesuwnych, takich jak kompensatory gazociągów.

Kompensatory gazociągów stosowane są w sieciach przesyłowych i dystrybucji paliw gazowych na terenach niestabilnych geologicznie w tym eksploatacji górniczej, zwłaszcza węgla i miedzi. Znajomość stanu przesunięcia elementów dylatacyjnych konstrukcji poprawia bezpieczeństwo ich użytkowania, a wiele rodzajów konstrukcji w tym szczególnie kompensatory gazociągów, wymagają monitorowania stanu przesunięcia ich elementów ruchomych w nowoczesnych systemach zarządzania ryzykiem.

Z uwagi na różnorodne konfiguracje konstrukcji, w których mierzone jest względne liniowe przemieszczenie elementów ruchomych konstrukcji, w tym kompensatorów rurociągów, bezpośredni pomiar przemieszczenia jest kłopotliwy technicznie w realizacji i wymaga dedykowanych rozwiązań czujnikowych. Bezpośredni pomiar przemieszczeń o zakresie powyżej 10^{-1} m wymaga rozbudowanej mechanicznej konfiguracji układu pomiarowego, co z reguły generuje trudności z uzyskaniem precyzyjnego, stabilnego i ciągłego sygnału wyjściowego. Niemniej jednak tego typu rozwiązania zawierają systemy pomiaru przemieszczenia liniowego kompensatorów takich firm jak Schuck (Niemcy) czy Radiatym (Polska), gdzie zastosowano do bezpośredniego pomiaru wydłużenia kompensatorów systemy oparte o czujniki elektroniczne. Trudności metrologiczne wzrastają dodatkowo w przypadku pomiaru przemieszczenia elementów w konstrukcjach osiowosymetrycznych, których elementy przesuwne mogą podlegać obrotowi, również podczas przesuwu. Taka sytuacja może mieć miejsce i występuje w konstrukcjach kompensatorów rurociągów.

Biorąc pod uwagę powyższe aspekty, pożądanym jest zastosowanie procesu transformacji sygnału przemieszczenia w pomiarach liniowych przemieszczeń elementów konstrukcji mierzonej. Transformacja przemieszczenia polega na redukcji jego amplitudy od zakresu 10^{-1} do 10^0 m, zwanego dalej „przemieszczeniem o dużej amplitudzie” do zakresu rzędu 10^{-5} do 10^{-2} m, zwanego dalej „przemieszczeniem o małej amplitudzie”. Proces transformacji przemieszczenia w przypadku konstrukcji osiowosymetrycznych powinien być odporny na katowy obrót przemieszczanych elementów konstrukcji.

Znane są systemy przetwarzania sygnałów przemieszczania o dużej amplitudzie na odkształcenia elementów pomiarowych o małej amplitudzie działające za pośrednictwem sprężyny. Tego typu rozwiązanie przedstawiono w pracy Jicheng Li, H. Neumann, R. Ramalingam: Design, fabrication, and testing of fiber Bragg grating sensors for cryogenic long-range displacement measurement. Cryogenics, Volume 68, June 2015, Pages 36–43.

Metoda polega na wykorzystaniu liniowej proporcjonalności wydłużenia sprężyny traktowanej jako przemieszczenie o dużej amplitudzie oraz liniowej proporcjonalności wydłużenia belki pomiarowej traktowanej jako przemieszczenie o małej amplitudzie. Sprężynowy przetwornik ze światłowodowym czujnikiem z siatką Bragga (FBG), dalej jako sprężynowy przetwornik FBG składa się z metalowej sprężyny śrubowej połączonej na jednym końcu szeregowo z belką pomiarową z zamocowanym czujnikiem FBG.

Belka pomiarowa wraz z czujnikiem FBG odkształca się proporcjonalnie do siły wywołanej w sprężynie podczas wzajemnego przemieszczenia mierzonych elementów. Zakres pomiaru przemieszczenia zależy od wymiarów sprężyny oraz zakresu jej liniowej charakterystyki, czyli stałej sztywności sprężyny dla danego zakresu przemieszczeń. W podanym rozwiązaniu sprężynowy przetwornik FBG charakteryzuje się zakresem pomiarowym od 0 do 550 mm. Do zalet sprężynowego przetwornika FBG należy zaliczyć prostotę konstrukcji oraz niski koszt wytworzenia. Jednak rozwiązanie posiada niedogodności eliminujące do zastosowania w pomiarach przemieszczenia w kompensatorach rurociągów, ponieważ rozwiązanie jest wrażliwe na osiowy obrót elementów kompensatora. Ponadto niedogodnością rozwiązania sprężynowego przetwornika FBG jest utrata liniowej charakterystyki sprężyny poprzez tzw. „starzenie się sprężyny” w długim okresie użytkowania (kilka lat), która jest niezbędna dla zachowania powtarzalności pomiarów.

W pracy Chen, S., Liu, Y., Liu, X. et al.: Self-Compensating Displacement Sensor Based on Hydraulic Structured Transducer and Fiber Bragg Grating. Photonic Sens 5 (2015) 351–356 została przedstawiona przekładnia hydrauliczna, w której przetwornik zamienia przemieszczanie o dużej amplitudzie na odkształcenie elementów pomiarowych o małej amplitudzie. Sposób działania tego rozwiązania polega na współpracy dwóch cylindrów, współpracujących jako naczeyń połączonych, o różnych

średnicach stanowiących przekładnię hydrauliczną. Tłok cylindra o małej średnicy realizuje przemieszczenie o dużej amplitudzie, natomiast tłok o dużej średnicy wykonuje przemieszczenie o małej amplitudzie. Końcówka tłoka o dużej średnicy jest połączona pod kątem prostym z belką pomiarową z czujnikiem FBG, który jest do niej przytwierdzony. Podczas przemieszczenia belka pomiarowa ugina się powodując jednocześnie odkształcenie czujnika FBG. Niedogodnością przetwornika FBG z przekładnią hydrauliczną jest brak możliwości osiowego obrotu mierzonych elementów, co powoduje nieprzydatność w zastosowaniu do pomiarów przemieszczeń elementów osiowosymetrycznych takich jak kompensatory rurociągów. Dodatkową niedogodnością przetwornika FBG z przekładnią hydrauliczną jest ryzyko wystąpienia wycieku medium roboczego spowodowanego starzeniem i nieszczelnością uszczelnień. Niedogodnością rozwiązania jest również utrata właściwości medium roboczego (np. oleju) wpływająca niekorzystnie na powtarzalność pomiarów.

Obecny stan wiedzy i techniki dotyczący sposobów pomiaru przemieszczeń i odkształceń o małej amplitudzie, obejmuje szereg rozwiązań czujnikowych w tym: czujniki tensometryczne, optorezystancyjne czujniki przemieszczenia, światłowodowe odbiciowe czujniki przemieszczenia, światłowodowe czujniki interferencyjne, czujniki z długookresowymi siatkami (LPG) oraz czujniki z siatkami Bragga (FBG). Każda z powyższych technik pomiarowych ma swoją specyfikę i wymaga oddzielnego potraktowania w przypadku aplikacji w przetworniku pomiarowym do transformowania przemieszczenia na odkształcenie elementu pomiarowego. Zastosowanie technik elektrycznych w przetwornikach do pomiaru wydłużenia kompensatorów gazociągu jest kłopotliwe. Rozwiązania te wymagają zasilania energią elektryczną elementów pomiarowych w środowisku pomiarowym, co powoduje wzrost ryzyka technologicznego. Obecność sygnałów elektrycznych przy kompensatorze gazociągu transportującego medium palne wymaga spełnienia warunków iskrobezpieczeństwa urządzeń. Ponadto, wobec znacznej liczby kompensatorów wzdłuż trasy gazociągu, doprowadzenie zasilania elektrycznego do czujników jest utrudnione ze względów organizacyjnych i ekonomicznych, co w praktyce uniemożliwia wdrożenie rozwiązań elektrycznych w warunkach eksploatacji sieci przesyłowej. Dlatego do monitorowania wydłużenia kompensatorów gazociągów korzystne jest stosowanie technik optycznych i światłowodowych umożliwiających łatwiejszą konfigurację systemu pomiarowego w postaci sieci czujników.

Celem wynalazku jest transformacja sygnału przemieszczenia co najmniej 10^5 razy i finalnie jego zamianę na odkształcenie belki pomiarowej, które następnie jest detekowane i mierzone czujnikiem światłowodowym lub innego typu do pomiaru odkształceń.

Cel ten osiągnięto poprzez zastosowanie układu przekładni mechanicznej pozwalającej zredukować i przetransformować przemieszczenie liniowe o amplitudzie od zakresu 10^{-1} m do 10^0 m na odkształcenie belki pomiarowej rzędu od 10^{-5} m do 10^{-2} m, które mierzone jest czujnikiem światłowodowym z siatką Bragga – FBG i/lub czujnikiem tensometrycznym.

Mechaniczny przetwornik do pomiaru przemieszczenia liniowego, zwłaszcza kompensatora rurociągu **charakteryzuje się tym, że** składa się z obudowy przetwornika pomiarowego przytwierdzonej za pomocą wspornika montażowego elementu A konstrukcji, wewnątrz której umieszczony jest przewód połączony z pochylnią, na której osadzony jest ślizgacz z trzpieniem i belką pomiarową, na której przytwierdzony jest czujnik, przy czym w podstawie ślizgacza zamocowany jest magnes trwały ślizgacza sprzężony magnetycznie z magnesami trwałymi pierścienia wodzika elementu B konstrukcji mierzonej przymocowanego do elementu B konstrukcji mierzonej – rury wewnętrznej, natomiast przewód sygnałowy czujnika jest wprowadzony i wyprowadzony z obudowy przetwornika pomiarowego za pomocą przepustów przewodów sygnałowych czujnika do urządzenia nadrzędnego.

Korzystnie mechaniczny przetwornik według wynalazku ma obudowa hermetyczną.

Korzystnie mechaniczny przetwornik według wynalazku charakteryzuje się tym, że kształt wspornika montażowego elementu A konstrukcji i wodzika elementu B konstrukcji mierzonej jest dostosowany do geometrii elementu A konstrukcji mierzonej – rury zewnętrznej i elementu B konstrukcji mierzonej – rury wewnętrznej.

Korzystnie mechaniczny przetwornik według wynalazku ma czujnik, który jest czujnikiem światłowodowym, przewód sygnałowy jest kablem światłowodowym, przepusty przewodów sygnałowych są przepustami światłowodowymi.

Korzystnie mechaniczny przetwornik według wynalazku charakteryzuje się tym, że elementy pomiarowe przetwornika chronione obudową przetwornika pomiarowego umieszczone są w medium ochronnym w postaci oleju hydraulicznego.

Sposób pomiaru mechanicznym przetwornikiem do pomiaru przemieszczenia liniowego, zwłaszcza kompensatora rurociągu **polega na tym, że** mierzone przemieszczenie elementu B konstrukcji mierzonej – rury wewnętrznej względem elementu A konstrukcji mierzonej – rury zewnętrznej przenoszone jest za pomocą ruchu ślizgacza, przy czym przeniesienie liniowego ruchu elementu B konstrukcji mierzonej – rury wewnętrznej na ruch ślizgacza po pochylni jest realizowane bez połączenia mechanicznego z wykorzystaniem sprzężenia magnetycznego poprzez magnes trwały ślizgacza i magnesy trwałe pierścienia, przy czym poruszający się po pochylni ślizgacz przenosi na zamocowany w nim ruchomy trzpień zredukowaną amplitudę przemieszczenia liniowego pomiędzy elementem A konstrukcji mierzonej – rury zewnętrznej i elementem B konstrukcji mierzonej – rury wewnętrznej, natomiast redukcja amplitudy przemieszczenia pomiędzy elementem A konstrukcji mierzonej – rury zewnętrznej i elementem B konstrukcji mierzonej – rury wewnętrznej, zależy od trajektorii krzywizny pochylni, realizujący przemieszczenie o zmniejszonej amplitudzie; trzpień powoduje ugięcie belki pomiarowej zamocowanej w ślizgaczu, która odkształca się sprężysto pod wpływem ruchu trzpienia jednocześnie odkształcając zamontowany na niej czujnik, odkształcenie belki pomiarowej powoduje dalszą redukcję amplitudy względnego przemieszczenia elementu A konstrukcji mierzonej – rury zewnętrznej i elementu B konstrukcji mierzonej – rury wewnętrznej do zakresu przystosowanego do współpracy z czujnikiem zaprojektowanym do pomiaru małych odkształceń, wielkość odkształcenia belki pomiarowej zmierzona czujnikiem jest jednoznaczna miarą względnego przemieszczenia liniowego pomiędzy elementem A konstrukcji mierzonej – rury zewnętrznej i elementem B konstrukcji mierzonej – rury wewnętrznej.

Korzystnie sposób pomiaru według wynalazku polega na tym, że wzajemny osiowy obrót przemieszczanych liniowo względem siebie elementu A konstrukcji mierzonej – rury zewnętrznej i elementu B konstrukcji mierzonej – rury wewnętrznej jest niewrażliwy.

Zaletą rozwiązania według wynalazku jest możliwość współpracy z czujnikami światłowodowymi bez zasilania energią elektryczną oraz niezależność wyniku pomiaru od przemieszczenia kąowego (obrotu) elementów o geometrii osiowej np. kompensatorów rurociągu. Ponadto ze względu na technikę światłowodową zaletą jest możliwość multiplikacji punktów pomiarowych i zasilania z jednego źródła światła punktów pomiarowych położonych do kilkunastu kilometrów od źródła. Zaletą rozwiązania jest także eliminacja potencjalnego ryzyka związanego z doprowadzeniem przewodów elektrycznych do rurociągów mediów palnych.

Wynalazek bliżej objaśniono w poniższym przykładzie wykonania na rysunku, na którym przedstawiono schemat budowy i zasadę działania przetwornika wydłużenia kompensatora liniowego gazociągu.

Przykład:

Mechaniczny przetwornik do pomiaru przemieszczenia kompensatora gazociągu z sygnałem wyjściowym światłowodowym.

Mechaniczny przetwornik służy do pomiaru przemieszczenia elementów kompensatora wydłużeniowego gazociągu. Kompensator zbudowany jest z dwu odcinków rur koncentrycznych, z których jedna jest poszerzona w miejscu połączenia, co umożliwia teleskopowe wsunięcie rury wewnętrznej (11) w większą zewnętrzną (3). Element B konstrukcji mierzonej – rury zewnętrznej (3) oraz element A konstrukcji mierzonej – rury wewnętrznej (11) stanowią elementy składowe kompensatora i nie wchodzi w skład przetwornika. Zakres przemieszczeń kompensatora wydłużeniowego wynosi ± 600 mm. Kompensator, jak i cały gazociąg, jest położony pod powierzchnią gruntu na głębokości min. 800 mm i zainstalowany jest materiałem antykorozyjnym. Przekroczenie zakresu może spowodować awarię rozszczelnieniową i/lub rozerwanie kompensatora, dlatego wskazane jest, aby operator gazociągu znał przemieszczenie kompensatora.

Celem pomiaru jest określenie osiowego przemieszczenia rur elementu A konstrukcji mierzonej – rury wewnętrznej (11) i elementu B konstrukcji mierzonej – rury zewnętrznej (11), czyli ich wsunięcia lub wysunięcia względem położenia wyjściowego. Przemieszczenie takie w dalszym opisie określono jako przemieszczenie kompensatora.

Przetwornik zawiera dwa elementy montażowe połączone z kompensatorem w sposób trwały. Na rurze zewnętrznej (3) zabudowany jest wspornik montażowy elementu A konstrukcji (2), natomiast na rurze wewnętrznej (11) zabudowany jest wodzik elementu B konstrukcji mierzonej (13). Elementy montażowe mają postać pierścieni przytwierdzonych do zewnętrznej powierzchni rur kompensatora przez połączenie klejone, lutowane, spawane lub inne. Do pierścieniowego wspornika montażowego elementu A konstrukcji (2) przytwierdzona jest obudowa przetwornika (1) mająca postać prostopadłościenną skrzynki zalanej medium ochronnym, korzystnie olejem. Wewnątrz obudowy przetwornika (1)

umieszczony jest przewód (4) połączony z pochylnią (5), na którym osadzony jest ślizgacz (6) z trzpieniem (7), przy czym w podstawie ślizgacza (6) przytwierdzony jest magnes trwały ślizgacza (10), powodujący ruch nadążny ślizgacza (6) wraz z przemieszczeniem się elementu A konstrukcji mierzonej – rury zewnętrznej (3) kompensatora, którego przemieszczenie względem elementu B konstrukcji mierzonej – rury wewnętrznej (11) jest mierzone. Ruch nadążny ślizgacza (6) zapewniony jest poprzez sprzężenie magnetyczne magnesu trwałego ślizgacza (10) z magnesami trwałymi pierścienia (12) umieszczonymi wewnątrz wodzika elementu B konstrukcji mierzonej (13) przymocowanego do rury wewnętrznej (11) kompensatora. Ślizgacz (6) porusza się po nachylonej, nieruchomej pochylni (5), co wymusza ruch trzpienia (7) prostopadle do kierunku przemieszczenia ślizgacza (6). Drugi koniec trzpienia (7) wywiera nacisk na belkę pomiarową (8) w formie płaskiego elementu sprężystego przytwierdzonego do ślizgacza (6) w taki sposób, by przemieszczający się trzpień (7) powodował jej ugięcie. Na belce pomiarowej (8) przymocowany jest czujnik (9) w postaci światłowodowej siatki Bragga mierzący odkształcenie zginanej belki pomiarowej (8). Amplituda ugięcia belki pomiarowej (8) jest proporcjonalna do przemieszczenia kompensatora, wsunięcia lub wysunięcia rury elementu A konstrukcji mierzonej rury zewnętrznej (3) i elementu B konstrukcji mierzonej rury wewnętrznej (11).

Przetwornik wykazuje odporność na obrót przemieszczających się rur względem siebie. Funkcjonalność tę uzyskuje się poprzez zastosowanie sprzęgła magnetycznego. Na rurze wewnętrznej (11) kompensatora zabudowany jest wodzik elementu B konstrukcji mierzonej (13) z magnesami trwałymi pierścienia (12). Sprzęgło magnetyczne tworzone jest przez parę współpracujących elementów: magnesów trwałych pierścienia (12) rozmieszczonych wokół wodzika elementu B konstrukcji mierzonej (13) oraz magnesu trwałego ślizgacza (10).

Z obudowy przetwornika pomiarowego (1) wyprowadzony jest na zewnątrz przewód sygnałowy czujnika (14) przenoszący sygnał pomiarowy do urządzenia nadrzędnego poprzez przepusty przewodów sygnałowych czujnika (15).

Układ pomiarowy przetwornika opcjonalnie można wyposażyć w dodatkowy czujnik w postaci światłowodowej siatki Bragga przymocowany luźno na belce pomiarowej (8), w celu zapewnienia kompensacji temperaturowej czujnika (9) w postaci światłowodowej siatki Bragga mierzącej odkształcenie zginanej belki pomiarowej (8).

W przedstawionym przykładzie wykonania mechanicznego przetwornika oraz sposobie pomiaru przemieszczenia według wynalazku, opomiarowany został model laboratoryjny liniowego kompensatora gazociągu. Przemieszczenie liniowe kompensatora o amplitudzie w zakresie (± 400 mm do ± 600 mm), jest transformowane na przemieszczenie trzpienia (7) o amplitudzie nieprzekraczającej 10 mm, przy czym przeniesienie sygnału przemieszczenia elementu B konstrukcji mierzonej rury wewnętrznej (11) odbywa się za pomocą sprzężenia magnetycznego pomiędzy wodzikiem elementu B konstrukcji mierzonej (13) oraz ślizgaczem (6). Ruch trzpienia (7) powoduje odkształcenie belki pomiarowej (8), które jest mierzone przy pomocy czujnika światłowodowego (9) z siatką Bragga (FBG).

Wykaz oznaczeń

- 1 – obudowa przetwornika
- 2 – wspornik montażowy elementu A konstrukcji
- 3 – element A konstrukcji mierzonej – (rura zewnętrzna)
- 4 – przewód
- 5 – pochylnia
- 6 – ślizgacz
- 7 – trzpień
- 8 – belka pomiarowa
- 9 – czujnik światłowodowy
- 10 – magnes trwały ślizgacza
- 11 – element B konstrukcji mierzonej – (rura wewnętrzna)
- 12 – magnesy trwałe pierścienia
- 13 – wodzik elementu B konstrukcji mierzonej
- 14 – przewody sygnałowe czujnika
- 15 – przepusty przewodów sygnałowych czujnika.

Zastrzeżenia patentowe

1. Mechaniczny przetwornik do pomiaru przemieszczenia liniowego, zwłaszcza kompensatora rurociągu, **znamienny tym**, że składa się obudowy (1) przetwornika pomiarowego przytwierdzonej za pomocą wspornika montażowego elementu A konstrukcji (2), wewnątrz której umieszczony jest przewód (4) połączony z pochylnią (5), na której osadzony jest ślizgacz (6) z trzpieniem (7) i belką pomiarową (8), na której przytwierdzony jest czujnik (9), przy czym w podstawie ślizgacza (6) zamocowany jest magnes trwały (10) ślizgacza (6) sprzężony magnetycznie z magnesami trwałym i pierścienia (12) wodzika elementu B konstrukcji mierzonej (13) przymocowanego do elementu B konstrukcji mierzonej – rury wewnętrznej (11), natomiast przewód sygnałowy (14) czujnika (9) jest wprowadzony i wyprowadzony z obudowy (1) przetwornika pomiarowego za pomocą przepustów przewodów sygnałowych (15) czujnika (9) do urządzenia nadrzędnego.
2. Mechaniczny przetwornik według zastrz. 1, **znamienny tym**, że obudowa (1) przetwornika pomiarowego jest hermetyczna.
3. Mechaniczny przetwornik według zastrz. 1, **znamienny tym**, że kształt wspornika montażowego elementu A konstrukcji (2) i wodzika elementu B konstrukcji mierzonej (13) jest dostosowany do geometrii elementu A konstrukcji mierzonej – rury zewnętrznej (3) i elementu B konstrukcji mierzonej – rury wewnętrznej (11).
4. Mechaniczny przetwornik według zastrz. 1, **znamienny tym**, że czujnik (9) jest czujnikiem światłowodowym, przewód sygnałowy (14) jest kablem światłowodowym, przepusty przewodów sygnałowych (15) są przepustami światłowodowymi.
5. Mechaniczny przetwornik według zastrz. 1, **znamienny tym**, że elementy pomiarowe przetwornika chronione obudową (1) przetwornika pomiarowego umieszczone są w medium ochronnym w postaci oleju hydraulicznego,
6. Sposób pomiaru mechanicznym przetwornikiem do pomiaru przemieszczenia liniowego, zwłaszcza kompensatora rurociągu, **znamienny tym**, że mierzone przemieszczenie elementu B konstrukcji mierzonej – rury wewnętrznej (11) względem elementu A konstrukcji mierzonej – rury zewnętrznej (3) przenoszone jest za pomocą ruchu ślizgacza (6), przy czym przeniesienie liniowego ruchu elementu B konstrukcji mierzonej – rury wewnętrznej (11) na ruch ślizgacza (6) po pochylni (5) jest realizowane bez połączenia mechanicznego z wykorzystaniem sprzężenia magnetycznego poprzez magnes trwały (10) ślizgacza (6) i magnesy trwałe pierścienia (12), przy czym poruszający się po pochylni (5) ślizgacz (6) przenosi na zamocowany w nim ruchomy trzpień (7) zredukowaną amplitudę przemieszczenia liniowego pomiędzy elementem A konstrukcji mierzonej – rury zewnętrznej (3) i elementem B konstrukcji mierzonej – rury wewnętrznej (11), natomiast redukcja amplitudy przemieszczenia pomiędzy elementem A konstrukcji mierzonej – rury zewnętrznej (3) i elementem B konstrukcji mierzonej – rury wewnętrznej (11), zależy od trajektorii krzywizny pochylni (5), realizujący przemieszczenie o zmniejszonej amplitudzie trzpień (7) powoduje ugięcie belki pomiarowej (8) zamocowanej w ślizgaczu (6), która odkształca się sprężysto pod wpływem ruchu trzpienia (7) jednocześnie odkształcając zamontowany na niej czujnik (9), odkształcenie belki pomiarowej (8) powoduje dalszą redukcję amplitudy względnego przemieszczenia elementu A konstrukcji mierzonej – rury zewnętrznej (3) i elementu B konstrukcji mierzonej – rury wewnętrznej (11) do zakresu przystosowanego do współpracy z czujnikiem (9) zaprojektowanym do pomiaru małych odkształceń, wielkość odkształcenia belki pomiarowej (8) zmierzona czujnikiem (9) jest jednoznaczną miarą względnego przemieszczenia liniowego pomiędzy elementem A konstrukcji mierzonej – rury zewnętrznej (3) i elementem B konstrukcji mierzonej – rury wewnętrznej (11).
7. Sposób pomiaru według zastrz. 6, **znamienny tym**, że wzajemny osiowy obrót przemieszczanych liniowo względem siebie elementu A konstrukcji mierzonej – rury zewnętrznej (3) i elementu B konstrukcji mierzonej – rury wewnętrznej (11) jest niewrażliwy.

Rysunek

