



Układ i sposób pomiaru kąta obrotu głowicy zamocowanej na nieruchomym elemencie

Przedmiotem wynalazku jest układ i sposób pomiaru kąta obrotu głowicy zamocowanej na nieruchomym elemencie, odporny na zakłócenia elektromagnetyczne, indukcję elektromagnetyczną, zanieczyszczenie światłem i zanieczyszczenia, niewpływający na ruch elementu obrotowego głowicy, nie powodujący zanieczyszczenia w postaci promieniowania elektromagnetycznego.

Ogólnie znane są rozwiązania pozwalające na pomiar kąta obrotu, wykorzystujące czujniki optyczne, czujniki oparte o zjawisko Halla, układy elektroniczne, indukcyjne oraz rozwiązania mechaniczne. Czujniki optyczne najczęściej wykorzystują źródło światła, którego promieniowanie kierowane jest na tarczę z wyciętymi otworami obracającą się wraz z elementem obrotowym. Obrót tarczy powoduje naprzemienne przesłanianie i transmitowanie światła, które jest wykrywane przez fotodetektor. Detektor światła rejestruje impulsy świetlne, co w połączeniu ze znajomością geometrii otworów tarczy umożliwia określenie kąta obrotu. Rozwiązania tego typu są narażone na zanieczyszczenia układu, które mogą powodować zamknięcie światła otworu i w konsekwencji zablokowanie promieniowania.

Czujniki mechaniczne wykorzystują różnego rodzaju przekładnie, sprzęgnięte z obracającym się elementem. Ich użycie wpływa na kinematykę układu z uwagi na generowany przez nie opór, powodujący hamowanie ruchu. Czujniki magnetyczne wykorzystują zjawisko Halla, które wynika z oddziaływania pola magnetycznego na półprzewodniki. Wymagają doprowadzenia zasilania elektrycznego i są wrażliwe na zakłócenia od obcych pól elektromagnetycznych. Czujniki indukcyjne natomiast wykorzystują zjawisko odbierania energii z pola magnetycznego generowanego przez cewkę. Ich działanie narażone jest na zakłócenia pochodzące od zanieczyszczeń niepożądanymi polami elektromagnetycznymi.

Układy do pomiaru kąta obrotu mechanicznych elementów obrotowych stanowią istotny element systemów mierzących kąt obrotu elementów ruchomych maszyn. Znajdują też zastosowanie w układach pomiarowych oraz powiązanych z nimi układach sterowania a także pozycjonowania.

Ze zgłoszenia patentowego [US20150036144A1](#) znane są bezdotykowy układ i metoda pomiaru kąta obrotu wykorzystujące układ laserowy pracujący w trybie interferometrycznym. Układ składa się z enkodera obrotowego, który mierzy kąt obrotu obracającego się wału. Układ składa się ze wspornika odniesienia pozwalającego na wykrywanie kąta względnego. Obrót tego wspornika jest regulowany w ustalonym zakresie w dowolnym kierunku. Układ składa się również z napędowego korpusu obrotowego połączonego z podporą odniesienia, podpartego osiowo tak, że może się obracać dookoła względem podpory odniesienia. W celu wykonania pomiaru z dużą dokładnością należy podczas zestawiania układu zminimalizować błąd przesunięcia początkowego i precyzyjnie zamontować wał enkodera na obracającym się ruchomym wale, aby wyeliminować mimośrodowość osiową.

Z opisu patentowego [CN106525099B](#) znany jest czujnik prędkości i przyspieszenia kątownego wykorzystujący pomiar siły pomiędzy strumieniem magnetycznym a obrotową głowicą z magnesem trwałym oraz zwykłe, proste siatki Bragga FBG do przetworzenia tej siły w sygnał optyczny. Czujnik może realizować pomiar prędkości kątownej i przyspieszenia kątownego w szerokim zakresie w trybie bezkontaktowym.

Z dokumentu ochronnego [DE4244126C1](#) znany jest optyczny system pomiaru długości lub kąta polegający na odczycie skali w postaci siatki dyfrakcyjnej z wykorzystaniem czujnika poruszającego się w jednym kierunku w stosunku do skali. System wykorzystuje układ optyczny posiadający soczewkę cylindryczną, która dzięki skupieniu światła, zawęża zakres skanowanej części podziałki. System może być wykorzystany do pomiaru zarówno długości jak i kąta obrotu. Układ charakteryzuje się zmniejszoną czułością na przechylenie zespołu optycznego względem mierzonego obiektu. Światło ze źródła światła LED jest kolimowane przez soczewkę kondensującą i soczewkę cylindryczną i w efekcie skupione na podziałce prostopadłej do kierunku pomiaru. Jeżeli ogniskowa soczewki cylindrycznej jest mniejsza niż ogniskowa soczewki kondensującej, wówczas wiązka źródła światła jest odwzorowywana na skali, przy czym szerokość oświetlanego obszaru skali jest

zminimalizowana. W układzie optycznym stosuje się dodatkowe elementy optyczne takie jak rozdzielacze wiązek lub pryzmaty aby promienie odbite o zerowym rzędzie dyfrakcyjnym nie wracały do źródła światła i nie powodowały niepotrzebnych odbić na fotoelementach.

Z opisu patentowego KR101102107B1 znane jest urządzenie do monitorowania obracającego się obiektu.

- 5 Wynalazek dotyczy urządzenia do monitorowania korpusu obracającego się wokół wału, zawierającego włókno światłowodowe, na którym znajdują się siatki Bragga. Włókno to jest rozciągnięte na obwodzie obracającego się korpusu po jego zewnętrznej stronie. Układ składa się z dwóch elementów kolimacyjnych. Pierwszy połączony jest fizycznie z końcem pierwszego światłowodu rozciągającego się na zewnętrznej powierzchni obwodowej wału obrotowego, natomiast drugi element kolimacyjny jest oddalony od jednostki obrotowej i jest skierowany w stronę
- 10 elementu kolimacyjnego pierwszego i jest z nim połączony bezkontaktowo. Sygnał świetlny pochodzący z czujników Bragga z kolimatora pierwszego do drugiego jest przesyłany bez fizycznego połączenia pomiędzy nimi. Pierwsze włókno światłowodowe z siatkami Bragga pełni funkcję odbijania światła o określonej długości fali przez modulację współczynnika załamania światła. Dzięki zapisaniu na nim zwykłych, jednorodnych siatek Bragga ma ono niską tłumienność wtrąceniową oraz charakteryzuje się wysoką selektywnością długości fali.
- 15 Drugie włókno światłowodowe łączy drugi element kolimacyjny z jednostką obliczeniową. W rozwiązaniu tym dzięki zamontowaniu końca pierwszego światłowodu na zewnętrznej powierzchni obwodowej wału obrotowego uzyskuje się korzyść polegającą na tym, że korpus obrotowy może być monitorowany bez połączenia fizycznego z wałem obrotowym.

- Z opisu zgłoszenia patentowego WO2013083192A1 znany jest układ koder kąta służący do określania
- 20 kąta obrotu części obrotowej względem części statycznej. Układ zawiera pierścień magnetyczny, układ do pomiaru pola magnetycznego i obwód elektroniczny. Pierścień magnetyczny posiada dwa bieguny magnetyczne i jest przymocowany do obracającej się części. Do części statycznej przymocowany jest układ do pomiaru pola magnetycznego. Układ elektroniczny jest przystosowany do określania kąta obrotu na podstawie zmierzonego pola magnetycznego. Niniejszy wynalazek dotyczy również zespołu łożyskowego w koderze kąta. Elementy
- 25 układu do pomiaru pola magnetycznego są przymocowane do części statycznej i zawierają światłowód, źródło światła i czujnik optyczny. Światłowód zawiera światłowodową siatkę Bragga pokrytą materiałem magnetostrykcyjnym. Źródło światła i czujnik optyczny są zarówno optycznie połączone ze światłowodem, jak i elektronicznie połączone z obwodem elektronicznym. Układ elektroniczny jest przystosowany do określania kąta obrotu na podstawie zmierzonych sygnałów z czujnika optycznego. Gdy jedno włókno światłowodowe zawiera
- 30 wiele światłowodowych siatek Bragga, powinny one być rozmieszczone tak, aby odbijały światło o różnych długościach fal, aby umożliwić czujnikowi optycznemu wykrycie, na które z nich miało wpływ pole magnetyczne. Można to uzyskać, zapisując różne światłowodowe siatki Bragga o różnych okresach.

- Z opisu zgłoszenia patentowego KR20190123506A znane jest urządzenie do pomiaru kąta obrotu wykorzystującego światłowód. Może ono mierzyć kąt obrotu przy użyciu światłowodu zawierającego światłowód z
- 35 prostą jednorodną siatką Bragga, którego jeden koniec jest przymocowany do obracającego się wału i połączony ze wspornikiem przymocowanym do drugiego końca. Specjalna płyta obrotowa jest nachylona pod określonym kątem do obracającego się wału, utworzonego z elastycznego materiału, który może ulegać deformacji wskutek siły rozciągającej. Urządzenie do pomiaru sygnału odbiera odbite z czujników światło, które zmienia się w zależności od stopnia krzywizny wywołanego przez siłę rozciągającą generowaną przez ciężarek, który styka się
- 40 z górną powierzchnią obracającej się płyty zgodnie z jej obrotem. Kąt obrotu członu obrotowego wyznacza się na podstawie różnicy faz światła odbitego i wprowadzanego.

- Problemem technicznym do rozwiązania jest wytworzenie czujnika kąta obrotu elementu obrotowego osadzonego na nieruchomym elemencie odpornego na zakłócenia elektromagnetyczne, pole magnetyczne,
- 45 światło, nie wprowadzającego zakłóceń (mechanicznych, elektrycznych, magnetycznych, indukcyjnych) do

badanego układu pozwalającego na wykonanie pomiaru kąta obrotu bez konieczności ciągłego śledzenia ruchu obracającego się elementu.

Przedmiotem wynalazku jest układ i sposób pomiaru kąta obrotu głowicy zamocowanej na nieruchomym elemencie. Istotą układu pomiaru kąta obrotu głowicy zamocowanej na nieruchomym elemencie w którym, na nieruchomym elemencie zamocowana jest obrotowo głowica jest to, że do czoła nieruchomego elementu zamocowany jest polaryzator połączony z kolimatorem, do którego za pomocą światłowodu podłączone jest szerokopasmowe źródło światła. Od strony czoła nieruchomego elementu w głowicy zamocowana jest półfalówka. Po przeciwnej stronie półfalówki do głowicy zamocowany jest drugi nieruchomy element, do którego powierzchni czołowej od strony półfalówki zamocowana jest soczewka połączona do drugiego światłowodu ze znajdującą się w jego rdzeniu światłowodową skośną siatką Bragga. Drugi światłowód połączony jest do analizatora widma optycznego, który połączony jest z modulem obliczeniowym.

Istotą sposobu pomiaru kąta obrotu głowicy zamocowanej na nieruchomym elemencie z wykorzystaniem światłowodu jednomodowego z siatką Bragga jest to, że kalibruje się układ w następujący sposób:

- głowicę ustawia się w pozycji początkowej, dla której kąt obrotu - K_{obr} równy jest 0° ,
- z szerokopasmowego źródła światła wysyła się poprzez światłowód światło do polaryzatora, w którym polaryzuje się je a następnie spolaryzowane światło przesyła się do kolimatora, w którym tworzy się wiązkę równoległą i kieruje się ją na półfalówkę, zamocowaną w głowicy. W półfalówce, na skutek obrotu głowicy zmienia się kąt płaszczyzny polaryzacji światła oraz moc światła przesyłanego na poszczególnych długościach fali, które to światło przesyła się do soczewki skupiającej światło i kierującej je do drugiego światłowodu z światłowodową skośną siatką Bragga, w której zmienia się widmo światła i przesyła się światło do analizatora, w którym mierzy się moc światła dla poszczególnych długości fali, zaś wartości zmierzonej mocy przesyła się do modułu obliczeniowego, w którym otrzymane wartości są przeliczane na serię wartości charakterystycznych dla ustawionego kąta obrotu głowicy. Przeliczenie odbywa się w układzie obliczeniowym poprzez obliczenie współczynników szybkiej transformaty Fouriera – FFT z wartości zmierzonej w analizatorze widma mocy światła dla poszczególnych długości fali. Obliczone współczynniki - FFT zapisuje się wraz z odpowiadającym im kątem obrotu głowicy $FC_j = \{(FC_{1j}, K_{obr_j}), (FC_{2j}, K_{obr_j}), \dots (FC_{ij}, K_{obr_j}), \dots, (FC_{nj}, K_{obr_j})\}$, gdzie FC_{ij} oznacza i-ty współczynnik transformaty zmierzony dla kąta obrotu wynoszącego j stopni, K_{obr_j} oznacza kąt obrotu głowicy równy j stopni, n oznacza połowę liczby wszystkich uzyskanych współczynników transformaty, w przypadku gdy n nie jest liczbą całkowitą zaokrągla się tę liczbę w dół,
- głowicę obraca się o zadany, stały kąt,
- wykonuje się obrót głowicy do momentu, w którym uzyskano pełny obrót głowicy,
- z obliczonych współczynników FC_{ij} tworzy się funkcje – $C_i = F(K_{obr_j})$ zależności wartości i-tego współczynnika FFT od kąta obrotu głowicy, w taki sposób, że dla każdego numeru współczynnika FC_i (i należy do zbioru $\langle 1, n \rangle$), odczytuje się jego wartość dla wszystkich kątów obrotu głowicy, dla których wykonywano kalibrację - (FC_{ij}, K_{obr_j}) . Następnie z odczytanych par wartości tworzy się funkcję poprzez wyznaczenie funkcji liniowych dla odczytanych wartości współczynnika dla kolejnych kątów obrotu, następnie wyznaczone funkcje łączy się i w ten sposób tworzy się funkcje zależności wartości współczynnika FFT od kąta obrotu głowicy – $C_i = F(K_{obr_j})$ dla co najmniej dziesięciu współczynników - WA, korzystnie nie mniej niż 30,
- utworzone funkcje (charakterystyki) $C_i = F(K_{obr_j})$ zapisuje się trwale w układzie obliczeniowym.

Pomiar polega na tym, że z szerokopasmowego źródła światła wysyła się poprzez światłowód światło do polaryzatora, w którym polaryzuje się je a następnie spolaryzowane światło przesyła się do kolimatora, w którym tworzy się wiązkę równoległą i kieruje się ją na półfalówkę, zamocowaną w głowicy oraz obraca się głowicę o kąt poniżej 360° . W półfalówce na skutek obrotu głowicy zmienia się kąt płaszczyzny polaryzacji światła, które to

światło przesyła się do soczewki skupiającej światło i kierującej je do drugiego światłowodu z światłowodową skośną siatką Bragga, w której zmienia się widmo światła i przesyła się światło do analizatora, w którym mierzy się moc światła dla poszczególnych długości fali. Wartości zmierzonej mocy przesyła się do modułu obliczeniowego, w którym otrzymane wartości są przeliczane na wartość kąta obrotu głowicy. Przeliczenie odbywa się w układzie obliczeniowym poprzez obliczenie współczynników FFT z wartości zmierzonej mocy światła w analizatorze widma dla poszczególnych długości fali. Spośród obliczonych współczynników FFT wybiera się te, dla których utworzono funkcje $C_i = F(K_{obr_i})$ podczas kalibracji układu a następnie określa się wartości potencjalnego kąta obrotu - PKO, jakie mogą być przez nie identyfikowane. Dokonuje się tego poprzez wyliczenie wartości PKO z funkcji $C_i = F(K_{obr_i})$ uzyskanych podczas kalibracji. Jako PKO przyjmuje się wszystkie wartości K_{obr_i} , które po podstawieniu do równania $C_i = F(K_{obr_i})$ dają w wyniku wartość i-tego współczynnika FFT zmierzoną dla badanego kąta obrotu.

Obliczone wartości PKO dla wszystkich współczynników zapisuje się w zbiorze – ZW. W zbiorze ZW tworzy się podzbiory z rozdzielczością jednego stopnia obrotu i zlicza się ile wartości PKO znajduje się w każdym z przedziałów. Wartość środkowa przedziału, w którym znajduje się najwięcej PKO oznacza kąt obrotu głowicy - KOGH.

W celu zwiększenia dokładności odczytu kąta obrotu otrzymane wyniki poddaje się dalszej analizie zgodnie z następującymi krokami:

- spośród obliczonych PKO analizuje się tylko te, dla których wartość różnicy kąta obrotu pomiędzy kątem obrotu KOGH a potencjalnymi kątami obrotu - PKO jest mniejsza niż 2° ,
- sortuje się rosnąco pozostawione wartości PKO,
- usuwa się 10% najmniejszych wartości oraz 10% największych wartości PKO.

Oblicza się średnią z pozostałych wartości PKO, z których obliczona średnia stanowi odczytaną wartość kąta obrotu.

Korzystnym skutkiem zastosowania wynalazku jest to, że rozwiązanie pozwala na miniaturyzację elementów układu umieszczonych w nieruchomym elemencie, co pozwoli na wykonywanie pomiarów kąta obrotu elementów mechanicznych bez istotnego naruszania ich konstrukcji. Konsekwencją zastosowania czujników, których sygnały transmitowane są w formie optycznej jest brak wrażliwości prowadzonych pomiarów na zakłócenia pochodzące od obcych pól elektromagnetycznych. Transmisja z użyciem włókien światłowodowych zapewnia wykluczenie niebezpieczeństwa wybuchowego lub pożarowego w warunkach, gdzie stosowanie elektronicznych odpowiedników zasilanych prądem elektrycznym może powodować zagrożenie. Brak elementów zasilanych elektrycznie zapewnia również możliwość stosowania wynalazku w zanurzeniu, gdzie obecność wody nie będzie powodować zagrożenia spięć elektrycznych. Umieszczenie elementu obracającego kąt polaryzacji światła wprowadzanego do skośnej siatki Bragga w szczelnej obudowie zapewnia zabezpieczenie przed zanieczyszczeniami w formie pyłu lub innych. Ponadto, zastosowanie światłowodowej skośnej siatki Bragga jako elementu pomiarowego pozwala na budowanie złożonych układów czujników mierzących różne wielkości fizyczne, takie jak kąt obrotu, temperatura, naprężenia wykorzystując pojedyncze włókno światłowodowe.

Przedmiot wynalazku w przykładzie wykonania jest uwidoczniony na rysunku, na którym poszczególne figury przedstawiają:

Fig. 1 schemat wykonania układu,

Fig. 2 – głowicę z zamocowanymi elementami pomiarowymi,

Fig. 3 – Wykres wartości współczynnika od kąta obrotu głowicy,

Fig. 4 – Przykładowy histogram liczby odczytów PKO dla kąta obrotu głowicy,

Fig. 5 – Przykład wyznaczenia funkcji $C_i = F(K_{obr_i})$ (charakterystyki) i-tego współczynnika WA,

Fig. 6 – Funkcja uzyskana dla współczynnika WA o numerze 1 w zakresie 0-360 stopni obrotu głowicy,

Fig. 7 – Funkcje uzyskane dla współczynników WA o numerach 2, 17 w zakresie 0-360 stopni obrotu głowicy,

Fig. 8 – Funkcje uzyskane dla współczynników WA o numerach 4, 8, 10, 20, 21, 23, 25, 35, 36 w zakresie 0-360 stopni obrotu głowicy,

Fig. 9 – Funkcje uzyskane dla współczynników WA o numerach 37, 45 - 51, 63, 64 w zakresie 0-360 stopni obrotu głowicy,

Fig. 10 – Funkcje uzyskane dla współczynników WA o numerach 3, 14, 15, 26, 28, 29, 31, 32, 33, 34 w zakresie 0-360 stopni obrotu głowicy,

Fig. 11 – Funkcje uzyskane dla współczynników WA o numerach 38 - 44, 52 w zakresie 0-360 stopni obrotu głowicy,

Fig. 12 – Funkcje uzyskane dla współczynników WA o numerach 53, 54, 55, 87, 105, 108, 127, 130, 153, 169 w zakresie 0-360 stopni obrotu głowicy.

Układ i sposób pomiaru kąta obrotu głowicy zamocowanej na nieruchomym elemencie, według wynalazku w przykładzie wykonania składa się z nieruchomego elementu 3, do którego czoła zamocowany jest polaryzator 4 - Thorlabs LPNIRA050-MP2 połączony z kolimatorem 6 – CFP2-1550A, do którego za pomocą światłowodu 2 – SMF-28 podłączone jest szerokopasmowe źródło światła 1 – S5FC1550S-A2. Od strony czoła nieruchomego elementu 3 w głowicy 5 zamocowana jest półfalówka 8 – WPHSM05-1550. Po przeciwnej stronie półfalówki 8 do głowicy 5 zamocowany jest drugi nieruchomy element 10, do której powierzchni czołowej od strony półfalówki 8 zamocowana jest soczewka 7 – CFP2-1550A podłączona do drugiego światłowodu 14 – SMF-28 ze znajdującą się w jego rdzeniu światłowodową skośną siatką Bragga 9 o kącie struktury wewnętrznej wynoszącym 7°. Światłowód 14 – SMF-28 podłączony jest do analizatora widma optycznego 11 – Yokogawa AQ6730D, który połączony jest z modulem obliczeniowym 12 w postaci komputera klasy PC.

Sposób pomiaru kąta obrotu głowicy zamocowanej na nieruchomym elemencie z wykorzystaniem światłowodu jednomodowego z siatką Bragga przy użyciu wyżej opisanego układu zrealizowano według procedury opisanej poniżej.

Przeprowadzono kalibrację układu według następujących kroków:

a) głowicę 5 ustawiono w pozycji początkowej, dla której kąt obrotu - K_{obr} równy jest 0°,

b) z szerokopasmowego źródła światła 1 wysłano poprzez światłowód 2 światło do polaryzatora 4, w którym zostało spolaryzowane a następnie spolaryzowane światło przesłano do kolimatora 6, w którym utworzona została wiązka równoległa, którą skierowano na półfalówkę 8, zamocowaną w głowicy 5. W półfalówce 8, na skutek obrotu głowicy 5 zmienił się kąt płaszczyzny polaryzacji światła oraz moc światła przesyłanego na poszczególnych długościach fali, które to światło przesłano do soczewki 7 skupiającej światło i kierującej je do światłowodu 14 ze światłowodową skośną siatką Bragga 9, w której zmieniło się widmo światła i światło zostało przesłane do analizatora 11, w którym zmierzono moc światła dla fal z zakresu 1540 - 1560nm z krokiem 0,004nm. Wartości zmierzonej mocy przesłano do modułu obliczeniowego 12, w którym otrzymane wartości zostały przeliczone na serię wartości charakterystycznych dla ustawionego kąta obrotu głowicy 5. Przeliczenie odbyło się poprzez obliczenie współczynników szybkiej transformaty Fouriera – FFT z wartości zmierzonej w analizatorze widma 11 mocy światła dla poszczególnych długości fali. Obliczone współczynniki - FFT zapisano wraz z odpowiadającym im kątem obrotu głowicy $FC_j = \{(FC_{1j}, K_{obr_j}), (FC_{2j}, K_{obr_j}), \dots, (FC_{ij}, K_{obr_j}), \dots, (FC_{nj}, K_{obr_j})\}$, gdzie FC_{ij} oznacza i-ty współczynnik transformaty zmierzony dla kąta obrotu wynoszącego j stopni, K_{obr_j} oznacza kąt obrotu głowicy równy j stopni, n oznacza połowę liczby wszystkich uzyskanych współczynników transformaty, w przypadku gdy n nie jest liczbą całkowitą zaokrągla się tę liczbę w dół. W przykładzie wykonania użyto współczynników - WA o numerach: 1, 2, 3, 4, 8, 10, 14, 15, 17, 20, 21, 23, 25, 26, 28, 29, 31-55, 63, 64, 87, 105, 108, 127, 130, 153, 169.

Przykładowe funkcje (charakterystyki) wymienionych współczynników pokazano na wykresach przedstawionych na Fig. 6 – Fig. 12

- c) głowicę 5 obracano o zadany, stały kąt, równy 2° i powtarzano krok b)
- d) wykonywano obrót głowicy 5 i powtarzano krok b) do momentu, w którym uzyskano pełny obrót głowicy 5,
- 5 e) z obliczonych współczynników FC_{ij} utworzono funkcje – $C_i = F(K_{obr_i})$ zależności wartości i-tego współczynnika FFT od kąta obrotu głowicy 5, w taki sposób, że dla każdego numeru współczynnika FC_i , gdzie i należy do zbioru $\langle 1, n \rangle$, odczytano jego wartość dla wszystkich kątów obrotu głowicy 5, dla których wykonano kalibrację (Fig. 6 – Fig. 12), a następnie z odczytanych par wartości utworzono funkcję poprzez wyznaczenie funkcji liniowych dla odczytanych wartości współczynnika dla kolejnych kątów obrotu, następnie wyznaczone funkcje
- 10 łączy się i w ten sposób utworzono funkcje (charakterystyki) – $C_i = F(K_{obr_i})$ dla wszystkich współczynników – WA – Fig. 5 rysunku,
- f) utworzone funkcje – $C_i = F(K_{obr_i})$ zapisano trwale w module obliczeniowym 12.

Pomiar polegał na tym, że z szerokopasmowego źródła światła 1 wysłano poprzez światłowód 2 światło

15 do polaryzatora 4, w którym zostało spolaryzowane a następnie spolaryzowane światło przesłano do kolimatora 6, w którym utworzona została wiązka równoległa, która została skierowana na półfalówkę 8, zamocowaną w głowicy 5 oraz obracano głowicę 5 o kąt poniżej 360° . W półfalówce 8 na skutek obrotu głowicy 5 zmieniał się kąt płaszczyzny polaryzacji światła oraz moc światła przesyłanego na poszczególnych długościach fali, które to światło przesyłane było do soczewki 7 skupiającej światło i kierującej je do światłowodu 14 ze światłowodową

20 skośną siatką Bragga 9, w której zmieniał się widmo światła, które to światło przesłano do analizatora widma optycznego 11, gdzie zmierzono moc światła dla poszczególnych długości fali. Wartości zmierzonej mocy przekazano do modułu obliczeniowego 12, w którym otrzymane wartości zostały przeliczone na wartość kąta obrotu głowicy 5. Przeliczenie odbywało się w module obliczeniowym 12 poprzez obliczenie współczynników – FFT z wartości zmierzonej mocy światła w analizatorze widma optycznego 11 dla poszczególnych długości fali.

25 Spośród obliczonych współczynników FFT wybrano te, dla których utworzono funkcje $C_i = F(K_{obr_i})$ podczas kalibracji układu a następnie określono wartości potencjalnego kąta obrotu – PKO, jakie mogły być przez nie identyfikowane – fig. 3. Dokonano tego poprzez wyliczenie wartości PKO z funkcji $C_i = F(K_{obr_i})$ uzyskanych podczas kalibracji. Jako PKO przyjęto wszystkie wartości K_{obr_i} , które po podstawieniu do równania $C_i = F(K_{obr_i})$ dały w wyniku wartość i-tego współczynnika FFT zmierzoną dla badanego kąta obrotu.

30 Obliczone wartości PKO dla wszystkich współczynników WA zapisano w zbiorze – ZW. Następnie utworzono przedziały pełnego kąta obrotu z rozdzielczością jednego stopnia ($0,5$ stopnia– $1,5$ stopień, $1,5$ stopnia – $2,5$ stopnia, ... $359,5$ stopnia – $0,5$ stopnia), zliczono ile PKO znajduje się w każdym z przedziałów. Środkowa wartość przedziału, w którym znajdowało się najwięcej PKO oznaczała kąt obrotu głowicy – KOGH, który wynosił 8 stopni. Przykładowe wyniki zobrazowano na histogramie przedstawionym na Fig. 4.

35 W celu zwiększenia dokładności odczytu kąta obrotu otrzymane wyniki poddano dalszej analizie zgodnie z krokami poniżej:

- spośród obliczonych PKO analizowano tylko te, dla których wartość różnicy kąta obrotu pomiędzy kątem obrotu KOGH a potencjalnymi kątami obrotu - PKO była mniejsza niż 2° ,
- posortowano rosnąco pozostawione wartości PKO,
- 40 – usunięto 10% najmniejszych wartości oraz 10% największych wartości PKO,
- obliczono średnią z pozostałych wartości PKO, z których obliczona średnia stanowiła odczytaną wartość kąta obrotu, która wynosiła $8,03$ stopnia.

RZECZNIK PATENTOWY

Maciej Nowicki
mgr inż. Maciej Nowicki
Nr wp. 3476

Wykaz oznaczeń

1. Szerokopasmowe źródło światła
2. Światłowód jednomodowy
3. Nieruchomy element
4. Polaryzator
5. Głowica obrotowa
6. Kolimator
7. Soczewka
8. Element obracający kąt płaszczyzny polaryzacji
9. Światłowodowa skośna siatka Bragga
10. Nieruchomy element
11. Analizator widma optycznego
12. Komputer PC z oprogramowaniem
13. Uszczelnienia głowicy obrotowej
14. Światłowód jednomodowy