

Idzi MERTA, Leszek R. JAROSZEWICZ, Zbigniew HOŁDYŃSKI

WOJSKOWA AKADEMIA TECHNICZNA, INSTYTUT FIZYKI TECHNICZNEJ, ul. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa

Światłowodowy demodulator fazy na bazie całkowania przestrzennego w układzie światłowodowego interferometru Younga

Dr inż. Idzi MERTA

Adiunkt naukowo-dydaktyczny w Zakładzie Technicznych Zastosowań Fizyki, Instytutu Fizyki Technicznej Wydziału Nowych Technologii i Chemii WAT. Początkowe zainteresowania dotyczyły badań i zastosowań akustooptycznych modulatorów światła do techniki laserowej oraz akustooptycznego zobrazowania informacji. Aktualnie zajmuje się optyką fourierowską w zastosowaniu do korelatorów optycznych oraz jej implementacją w technice światłowodowej.

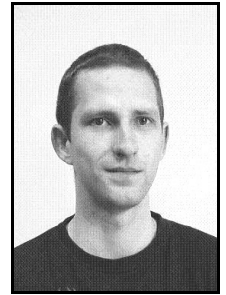
e-mail: imerta@wat.edu.pl



Zbigniew HOŁDYŃSKI

Zbigniew Hołdyński, student V roku studiów kierunku inżynieria materiałowa, specjalność materiały fotoniczne na Wydziale Nowych Technologii i Chemii Wojskowej Akademii Technicznej. Realizuje pracę magisterską p.t. „Modelowanie i badanie eksperymentalne światłowodowego demodulatora fazy z całkowaniem przestrzennym w płaszczyźnie Fouriera” pod kierunkiem dr inż. Idziego Merty.

e-mail: zholdynski86@gmail.com



Prof. dr hab. inż. Leszek R. JAROSZEWICZ

Fellow of SPIE (ur. 24.05.1959) ukończył studia w roku 1983 w WAT na kierunku fizyka techniczna, doktoryzował się w zakresie optoelektroniki światłowodowej w 1989 r, zaś w roku 1996 obronił rozprawę habilitacyjną z zakresu elektroniki. W roku 2002 otrzymał tytuł profesora nauk technicznych. Związany z WAT od roku 1979. Obecnie główne jego zainteresowania naukowe to technologia in-line i aplikacje fotoniki światłowodowej dla potrzeb tele- i niefonokomunikacyjnych zastosowań.

e-mail: jarosz@wat.edu.pl



Streszczenie

W artykule zaprezentowano eksperymentalne wyniki badań światłowodowego demodulatora fazy w układzie interferometru Younga. Pokazano, że poprzez odpowiednie całkowanie widmowej gęstości mocy w płaszczyźnie Fouriera istnieje możliwość jednoznacznego określenia różnicy faz w obu światłowodach w zakresie od 0 do 2π .

Słowa kluczowe: demodulator fazy, interferometr Younga.

Fiber-optic phase demodulator based on spatial integration in Young fiber interferometer system

Abstract

Experimental results of investigation a new fiber-optic phase demodulator operating in the Young interferometer configuration are the main subject of this paper. The experimental set-up contains set of two single mode optical fibers with collimators and rectangular prism for protecting the coherent beams coupling. Next a lens has been used for the optical Fourier transform realization. In this way, a spectral power density in Fourier back focal plane is spatially modulated, with frequency depended among other things on distance between fibers. The proper spatial integration of the output field, for instance by using the two elements photodetector, the unambiguous information about phase changes in the range from 0 to 2π can be obtained by proper signal processing. The paper presents the experimental results which are in good agreements with theoretical model. Because the CCD element has been used in the presented experiment, the detected plane has been divided on two parts by special numerical procedure. Finally, the application commercially available multi-elements photodetector will protect above procedure in a hardware way.

Keywords: phase demodulator, Young interferometer.

1. Wstęp

W ostatnich latach ma miejsce dynamiczny rozwój interferometrii światłowodowej oraz związany z nią rozwój różnego typu czujników światłowodowych. Wszystkie one działają na zasadzie detekcji zmian fazy fali świetlnej propagującej się we włóknie optycznym będącej wynikiem oddziaływania różnego rodzaju pól

zewnętrznych. Układy te charakteryzują się ekstremalnie wysoką czułością, wynikającą z ich interferometrycznej natury działania. Na poziom czułości, niezawodność, pewność pracy czujnika mają wpływ parametry wszystkich elementów, które wchodzi w jego skład poczynając od lasera, a kończąc na demodulatorze. Obecnie w praktycznie stosowanych układach światłowodowych demodulator fazy wykorzystuje detekcję synchroniczną bądź pasywną detekcję homodynową na bazie wykorzystania sygnału różnicowego z dwu fotodiod. Jednakże tak otrzymany elektroniczny sygnał zawierający informacje o różnicy faz obciążony jest ograniczoną dynamiką i pasmem oraz posiada zwiększone szumy.

Celem niniejszej pracy jest zaprezentowanie eksperymentalnych wyników badań nowego podejścia do światłowodowego demodulatora fazy. Wynika ono z wykorzystania istoty i własności pola dyfrakcyjnego w płaszczyźnie Fouriera „cienkiej” soczewki sferycznej.

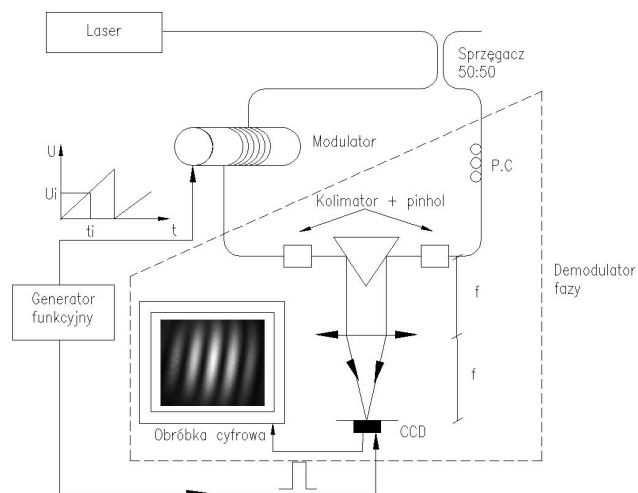
Idee i symulację numeryczną badanego demodulatora fazy w układzie interferometru Younga zaprezentowano w pracy [1]. Układ wykorzystuje klasyczne interferencyjne doświadczenie Younga oraz własności transformacyjne soczewki sferycznej. Punktowymi źródłami światła są położone obok siebie dwa jednomodowe światłowody. Umieszczone są one w płaszczyźnie ogniskowej przedmiotowej soczewki skupiającej. W płaszczyźnie ogniskowej obrazowej rozkład amplitudy pola dyfrakcyjnego opisany jest przez transformatę Fouriera transmitancji przedmiotu. W takim podejściu soczewka dokonuje optycznej analizy fourierowskiej wiązek świetlnych wychodzących ze światłowodów. Widmowa gęstość mocy w płaszczyźnie obrazowej soczewki (płaszczyźnie Fouriera) modulowana jest przestrzennie w zależności od odległości między światłowodami. Na przesunięcie powstałego pola prążkowego ma wpływ różnica fazy sygnałów w światłowodach. Dokonując całkowania przestrzennego widmowej gęstości mocy za pomocą dwuelementowego fotodetektora umieszczonego w płaszczyźnie Fouriera uzyskuje się z sumy i różnicy detekowanych sygnałów jednoznaczną informację o różnicy faz sygnałów w obu światłowodach w zakresie od 0 do 2π .

2. Światłowodowy demodulator fazy – układ pomiarowy

Na rys. 1 pokazany jest schemat układu pomiarowego, gdzie układ światłowodowy demodulatora fazy został wydzielony linią przerywaną.

Światłowodowy demodulator fazy stanowi układ dwóch światłowodów zakończonych kolimatorami z pinholami oraz prostokątnego pryzmatu umożliwiającego koherentne złożenie wychodzących wiązek światła. W układzie tym pinhole określają apertury wiązek światła wychodzących ze światłowodów, zaś położenie pryzmatu pozwala zmieniać odległość między osiami wychodzących wiązek. W płaszczyźnie Fouriera soczewki przekłada się to na zmianę częstości przestrzennej modulacji powstałego pola

dyfrakcyjnego. Płaszczyzna z pinholami jest usytuowana w płaszczyźnie ogniskowej przedmiotowej soczewki fourierowskiej, podczas gdy w jej płaszczyźnie ogniskowej obrazowej znajduje się kamera CCD do rejestracji widmowej gęstości mocy pola dyfrakcyjnego wiązek. Użyta 8 bitowa kamera monochromatyczna o rozdzielczości (1280x960), o kwadratowym pikselu a boku $4,65 \mu\text{m}$ pozwala na rejestrację 15 zdjęć na sekundę oraz daje możliwość regulacji w szerokim zakresie tak czasu jak i momentu opóźnienia ekspozycji. Do archiwizacji sekwencji zdjęć oraz dalszej ich obróbki – zgodnie z przyjętą ideą - użyto specjalnie opracowanego oprogramowania. W układzie zastosowano standardowy światłowód jednomodowy SM-450, mechaniczny nastawnik polaryzacji oraz sprzęgacz 50/50. Użyty laser pracujący na fali o długości 532 nm, posiadał drogę spójności 10 m, wysoką stabilność fazy oraz wychodzącej mocy na poziomie 1%. W celu wyeliminowania termicznych fluktuacji pola prążkowego ograniczono czas rejestracji rozkładów pola dyfrakcyjnego do (1 – 3) sekund. Całość układu umieszczono w specjalnej ochronie termicznej chroniącej przed zaburzeniami zewnętrznymi. Tak zestawiony układ pomiarowy pozwalał na przeprowadzenie (30-45) rejestracji pola interferencyjnego.



Rys. 1. Schemat układu pomiarowego światłowodowego demodulatora fazy

Fig. 1. The fiber-optic spatial phase demodulator scheme

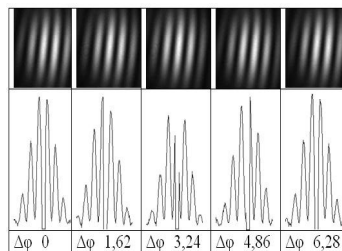
Do pomiaru charakterystyk fazowych demodulatora użyto piezoceramicznego modulatora fazy, którego napięcie $U_{2\pi}$ wynosiło 790 mV. Ponieważ skokowe zmiany napięcia są niekorzystnym trybem pracy piezoceramicznego modulatora [2], w celu zapewnienia jego stabilnych warunków pracy zastosowano пилоkształtne sterowanie zmieniające się od 0 do 790 mV. Czas trwania sygnału пилоkształtnego dobierano stosownie do ilości zdjęć, jakie robiono w zakresie przykładowej zmiany napięcia (0, $U_{2\pi}$).

3. Wyniki pomiaru

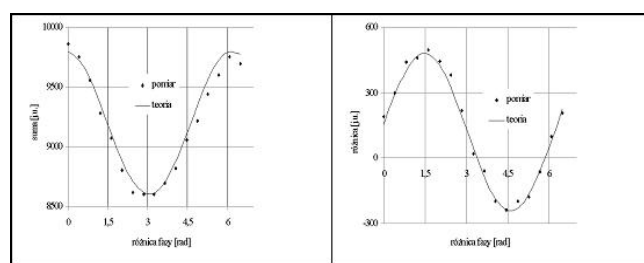
Na rys. 2, w górnym rzędzie pokazano zarejestrowane przez kamerę CCD w płaszczyźnie Fouriera chwilowe rozkłady widmowej gęstości mocy, zaś w rzędzie dolnym centralne przekroje z tych rozkładów dla wybranych charakterystycznych wartości różnicy faz wprowadzonej przez piezoceramiczny modulator fazy. Pole prążkowe zajmowało obszar 110×110 pikseli czyli około $512 \times 512 \mu\text{m}$. Prążki oddalone były od siebie o 18 pikseli czyli $83,7 \mu\text{m}$, co w przestrzeni fazowej odpowiada różnicy 2π radianów.

Na przekrojach, w ich centralnej części widoczna jest „wycinająca maska”, w tym przypadku o szerokości 4 pikseli. Maską tą jest miarą separacji fotodetektorów – podziału detektora CCD na dwie części, gdzie w takt zmian różnicy faz wprowadzanej przez modulator, zmianie ulegają położenia prążków. Jest to widoczne

na przekrojach. Zgodnie z ideą pracy demodulatora, sumowany jest sygnał z lewej i prawej strony tej maski. W przypadku kamery CCD sumowanie dokonywane jest za pomocą specjalnego oprogramowania. Na rys. 3. pokazana jest suma i różnica sygnału z lewej i prawej strony maski w funkcji różnicy faz.



Rys. 2. Prążki i ich wybrane przekroje dla różnych wartości różnicy faz
Fig. 2. Interferometric fringes and their crosses for different phase value

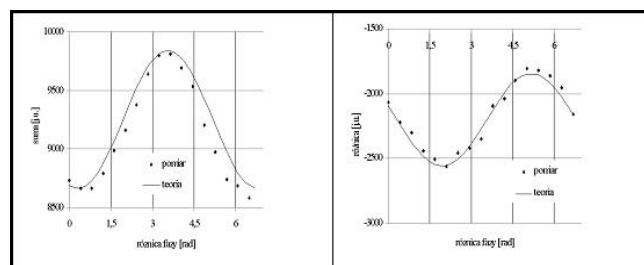


Rys. 3. Suma i różnica sygnałów z lewej i prawej części CCD w funkcji różnicy faz

Fig. 3. The sum and difference of left and right part of CCD for different phase

Jak to zostało pokazane w pracy [1] w sumie i różnicy tych sygnałów zakodowana jest jednoznaczna informacja o różnicy faz fali w światłowodach w zakresie od 0 do 2π (rys. 3). Widac dobrą zgodność punktów zmierzonych i wartości modelowanych [1]. Występująca składowa stała w różnicy sygnałów spowodowana jest brakiem 100% kontrastu widocznego w przekrojach na rys. 2. Efekt ten, z uwagi na poziom sygnału, nie jest widoczny w sumie sygnałów.

Na rys. 4, doskonale widoczny jest efekt przesunięcia w dziedzinie częstotliwości. Maską wycinającą została przesunięta o 9 pikseli w stosunku do położenia w którym była gdy różnica faz wynosiła $\Delta\phi = 0$ (rys. 2). Odpowiada to przesunięciu o pół okresu pokazanych oscylacji w płaszczyźnie Fouriera. Przekłada się to na zmianę fazy o π w stosunku do przebiegu sumy i różnicy pokazanej na rys. 3. Tym samym potwierdza się pomysł i interpretacja działania światłowodowego demodulatora fazy na bazie całkowienia przestrzennego w układzie światłowodowego interferometru Younga.



Rys. 4. Sygnały sumy i różnicy uzyskane z przesuniętą „maską” o 9 pikseli
Fig. 4. The sum and difference signals for the mask with 9 pixels

4. Podsumowanie

Zmierzone charakterystyki światłowodowego demodulatora fazy potwierdzają możliwość uzyskania demodulacji fazy poprzez odpowiednie całkowanie przestrzenne widmowej gęstości mocy w płaszczyźnie Fouriera. Dla klasycznego dwuelementowego fotodetektora całkowanie przestrzenne będzie automatycznie zachodziło na jego powierzchni, zaś wychodzące sygnały poddane operacji sumowania i odejmowania będą zawierały jednoznaczne informacje o różnicy faz w ramionach interferometru Younga w zakresie jej zmian od 0 do 2π . W praktycznych aplikacjach powinno to znacząco poprawić dynamikę demodulatora fazy. Praca in-line takiego detektora jest przedmiotem przygotowywanej większej publikacji.

Praca została zrealizowana w ramach realizacji projektu kluczowego POIG. 01.03.01.-14016/08-03 pt. „Nowe materiały fotoniczne i ich zaawansowane zastosowania”.

5. Literatura

- [1] Merta I., Jaroszewicz L. R.: Demodulator of phase signal for single mode fiber-optics. SPIE, 6585, (2007), 6585-88.
- [2] Falaggis K., Towers D.P., Towers C.E.: Phase measurement through sinusoidal excitation with application to multi-wavelength interferometry. J. Opt. A: Pure Appl. Opt. 11(2009) 054008 (11pp).

otrzymano / received: 02.03.2010

przyjęto do druku / accepted: 04.05.2010

artykuł recenzowany

INFORMACJE

Studia Podyplomowe

Wydział Elektryczny Politechniki Śląskiej w Gliwicach, Instytut Metrologii, Elektroniki i Automatyki ogłasza nabór na Dwusemestralne Zaoczne Studia Podyplomowe

Systemy Pomiarowe i Sterowniki Programowalne (SPSP)

Cel Studiów

Celem studiów jest przekazanie wiedzy teoretycznej i umiejętności praktycznych w zakresie: projektowania, wdrażania i utrzymania ruchu systemów automatyki, programowania sterowników PLC oraz systemów nadrzędnych (SCADA), projektowania, programowania i eksploatacji automatycznych systemów pomiarowych w laboratoriach badawczych i przemysłowych, metod opracowania danych w systemach zapewnienia jakości procesów przemysłowych.

Profil uczestnika studiów

Studia przeznaczone są dla pracowników o różnych specjalnościach, z wyższym wykształceniem o kierunku elektrycznym, elektronicznym, informatycznym lub pokrewnym, zajmujących się organizacją pomiarów w laboratoriach badawczych i przemysłowych lub eksploatacją oraz modernizacją systemów starowania. Ich ukończenie pozwoli uczestnikom na podwyższenie kwalifikacji niezbędnych do sprawnego opracowywania i wdrażania nowoczesnych systemów. Absolwent Studiów otrzymuje Świadectwo Ukończenia Studiów Podyplomowych w zakresie objętym nazwą studiów.

Studia prowadzone są na Wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach, w systemie zaocznym w każdą sobotę lub w co drugi weekend (do wyboru) przez dwa semestry. Zajęcia prowadzone są przez nauczycieli akademickich ze stopniem co najmniej doktora oraz przez zaproszonych Gości o uznanym dorobku i autorytecie. Studia obejmują 200 godzin dydaktycznych. Rozpoczęcie Studiów nastąpi po skompletowaniu odpowiedniej liczby kandydatów na dany rodzaj studiów.

Organizator studiów:

Instytut Metrologii, Elektroniki i Automatyki Politechniki Śląskiej, 44-100 Gliwice, ul. Akademicka 10, tel. 32 237 12 41, fax: 32 237 20 34, e-mail: re2@polsl.pl lub agnieszka.skorkowska@polsl.pl, <http://imeia.elekt.polsl.pl>

Kierownik studiów:

Prof. dr hab. inż. Tadeusz SKUBIS