

Zdzisław KACZMAREK

POLITECHNIKA ŚWIĘTOKRZYSKA, SAMODZIELNY ZAKŁAD ELEKTROTECHNIKI TEORETYCZNEJ I METROLOGII ELEKTRYCZNEJ

Światłowodowy czujnik ciśnienia impulsowych z siatką Bragga

Dr hab. inż. Zdzisław KACZMAREK

Ukończył studia na Wydziale Łączności Politechniki Wrocławskiej w 1964 r. W 1977 r. uzyskał stopień doktora w Instytucie Metrologii Elektrycznej Politechniki Wrocławskiej a w 1990 r. stopień doktora habilitowanego na Wydziale Elektrycznym Politechniki Warszawskiej. Jest autorem ponad 70 prac naukowych w tym jednej monografii z zakresu miernictwa dynamicznego, elektrycznych i światłowodowych czujników pomiarowych, odtwarzania sygnałów pomiarowych.

e-mail: etmzk@eden.tu.kielce.pl



Streszczenie

W artykule przedstawiono nowy światłowodowy czujnik ciśnienia impulsowych z siatką Bragga, którego działanie opiera się na idei klasycznego pręta Hopkinsona. Podano charakterystykę przetwarzania i czułość czujnika oraz układ oświetlenia siatki czujnika i układ optycznego dyskryminatora długości fali. Czujnik zastosowano do pomiaru ciśnienia uderowych wywołanych wyładowaniem elektrycznym w wodzie. Przedstawiono uzyskane rezultaty pomiarów oraz wnioski z nich wynikające.

Abstract

This paper introduces a new impulsive pressure sensor based on the elastic bar. As the elastic bar is used a piece of single mode optical fiber with photo-inscribed Bragg grating. The grating is an optical strain gauge, which converts the stress waves in the fiber into the changes of the Bragg wavelength. An experimental setup for the proposed sensor is demonstrated. The sensor was used to measure the pressure produced by an electrical discharge in water.

1. Wstęp

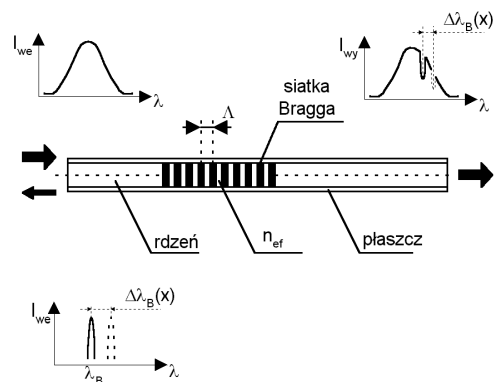
W pomiarach ciśnienia i sił impulsowych powszechnie stosowanym czujnikiem pomiarowym, ze względu na prostą budowę i szerokie pasmo przenoszenia, jest elastyczny metalowy pręt z zainstalowanymi na nim tensometrami, nazywany prętem Hopkinsona. Stosowanie takiego czujnika wiąże się jednak z pewnymi niedogodnościami, które wynikają ze znacznej długości pręta i z konieczności kompensacji wpływu dyspersji na dokładność przetwarzania [1, 2]. Przedstawiony w artykule czujnik ma wszystkie zalety klasycznego pręta Hopkinsona bez wymienionych wyżej jego wad. Jest on w istocie światłowodowym prętem Hopkinsona, w którym rolę sprężystego pręta spełnia odcinek jednomodowego światłowodu ze szkła kwarcowego a funkcję tensometru pełni, siatka Bragga naniesiona w wybranym miejscu tego odcinka włókna. Średnica jednomodowego światłowodu telekomunikacyjnego wynosi 0,125 mm, zatem pasmo przenoszenia dla odkształceń osiowych jest nie mniejsze niż 5 MHz. Włókno o długości rzędu pojedynczych metrów, pełniące rolę sprężystego pręta, nie stanowi utrudnienia w pomiarach, gdyż może być zwijane.

2. Światłowodowe siatki Bragga stosowane w czujniku

Światłowodowa siatka Bragga jest elementem światłowodowym, wytwarzanym w rdzeniu światłowodu jednomodowego, przez jego naświetlenie światłem ultrafioletowym [3, 4]. Wykorzystuje się tutaj zjawisko fotoczułości w światłowodzie krzemowym domieszkowanym germanem, którego efektem są trwałe zmiany współczynnika załamania rdzenia wywołane jego oświetleniem. Obecnie wytwarza się wiele rodzajów światłowodowych siatek Bragga dla potrzeb telekomunikacji optycznej, techniki laserowej i miernictwa. Do najczęściej stosowanych można zaliczyć apodyzowane siatki równomierne, siatki o zmiennym okre-

sie, siatki skośne i siatki długookresowe. W czujniku ciśnienia impulsowych są wykorzystywane dwa pierwsze rodzaje siatek. Z tego względu przedstawione zostaną podstawowe właściwości tych dwóch typów siatek.

Światłowodowe siatki Bragga o stałym okresie i stałej amplitudzie zmian współczynnika załamania, nazywane siatkami równomiernymi (ang. uniform Bragg grating), stanowią najprostszą formę siatek. Rdzeń światłowodu jednomodowego zawiera odcinek o amplitudowo zmodulowanym współczynniku załamania. Płaszczyzny siatki są prostopadłe do osi włókna (rys. 1). Wiązka światła wprowadzona do rdzenia włókna ulega rozproszeniu na każdej płaszczyźnie siatki. Jeżeli spełniony jest warunek Bragga, to światło odbite od szeregu płaszczyzn siatki dodaje się konstruktywnie, tworząc wiązkę odbitą w kierunku przeciwnym do padającej o środkowej długości fali zdeterminowanej parametrami siatki.



Rys. 1. Schemat równomiernej światłowodowej siatki Bragga. Oznaczenia: I – natężenie oświetlenia, x – wielkość mierzona

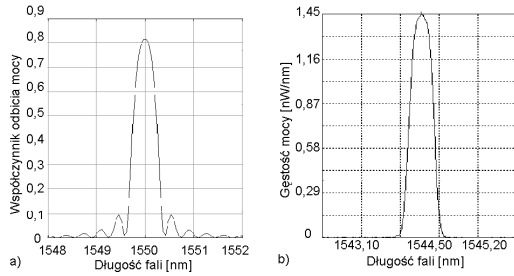
Długość fali Bragga, albo warunek rezonansu siatki określa zależność [3]:

$$\lambda_B = 2n_e \cdot \Lambda \quad (1)$$

gdzie: Λ - okres siatki, n_e - efektywny współczynnik załamania rdzenia włókna. Odształcenie siatki i zmiany jej temperatury wpływają na okres siatki i efektywny współczynnik załamania rdzenia, co wywołuje zmianę długości fali Bragga. Stanowi to podstawę wykorzystania siatek jako przetworników odształcenia – światłowodowych tensometrów optycznych i przetworników temperatury, z częstotliwościowym sygnałem wyjściowym. Podstawowymi parametrami charakteryzującymi siatkę są oprócz długości fali Bragga, współczynnik odbicia mocy i pasmo. Współczynnik odbicia mocy siatki równomiernej, wyznaczony na podstawie teorii modów sprzężonych, można opisać zależnością [5]:

$$R(\lambda) = \left| \frac{j\kappa \sin(qL)}{q \cos(qL) - j\delta\beta \sin(qL)} \right|^2 \quad (2)$$

gdzie: $q^2 = (\delta\beta)^2 - \kappa^2$, $\delta\beta = \beta(\omega) - \beta_g$, przy czym $\beta(\omega) = 2\pi n_0 / \lambda$ jest stałą propagacji, κ oznacza współczynnik sprzężenia modów, β_g jest stałą fazową siatki, L oznacza długość siatki. Typowy przebieg widma współczynnika odbicia mocy dla siatki bez apodyzacji i z apodyzacją przedstawiono na rysunku 2. Dla siatki bez apodyzacji występują wstęgi boczne w widmie wiązki odbitej, jako wynik wielokrotnych odbić od końców siatki. Dla siatek z apodyzacją wstęgi boczne widma są stłumione.



Rys. 2. Widmo a) współczynnika odbicia mocy siatki bez apodyzacji, b) gęstości mocy wiązki odbitej siatki z apodyzacją

Pasmo siatki określone jako szerokość połowkowa widma (ang. FWHM-Full Width at Half Maximum) wiązki odbitej wynosi:

$$\Delta\lambda = \lambda_B s \sqrt{\left(\frac{\Delta n}{2n_0}\right)^2 + \left(\frac{1}{N}\right)^2} \quad (3)$$

gdzie: N jest liczbą okresów siatki, n_0 jest średnią wartością współczynnika załamania rdzenia włókna, Δn jest amplitudą zmian współczynnika załamania, której wartości zawierają się w przedziale od 10^{-5} do 10^{-3} , parametr s przyjmuje wartości z przedziału od 0,5 do 1. Typowe wartości pasma siatek, do zastosowań pomiarowych, zawierają się w przedziale od $\sim 0,05$ nm do $\sim 0,8$ nm.

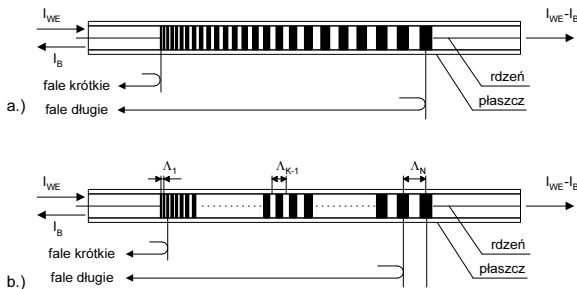
Duże możliwości zastosowania w telekomunikacji i miernictwie mają siatki o zmiennym okresie (ang. chirped Bragg grating). Siatki te mają monotonicznie zmienny okres, tak jak schematycznie pokazano na rys. 3. Można je utworzyć zmieniając wzdłuż długości okres siatki lub współczynnik załamania, albo obie te wielkości jednocześnie.

$$\lambda_B(z) = 2n_e(z)\Lambda(z) \quad (4)$$

Najprostszym rodzajem siatki o zmiennym okresie jest taka, której okres zmienia się liniowo

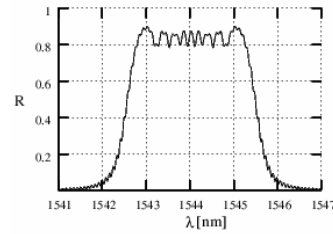
$$\Lambda(z) = \Lambda_0 + A_I z \quad (5)$$

gdzie Λ_0 jest okresem początkowym a A_I współczynnikiem zmiany tego okresu wzdłuż długości siatki. Siatkę o zmiennym okresie można modelować szeregiem siatek równomiernych o małej długości rys. 3b).



Rys. 3. Schemat światłowodowej siatki Bragga z zmiennym okresem i jej model

Widmo wiązki odbitej takiej siatki ma przebieg zbliżony do prostokątnego rys. 4. Pasmo wiązki odbitej jest wprost proporcjonalne do jej długości i współczynnika A_I , natomiast dolną i górną długość fali tego pasma wyznaczają długości fal Bragga pierwszej i ostatniej z siatek równomiernych modelu. W siatkach o zmiennym okresie, długości fal Bragga są liniową funkcją położenia wzdłuż osi siatki, tak więc różne długości fal zawarte w wejściowym impulsie świetlnym odbijają się w różnych miejscach siatki, co odpowiada różnym czasom ich wzajemnego opóźnienia.



Rys. 4. Widmo współczynnika odbicia mocy R siatki z liniowo zmiennym okresem

Jeżeli siatka jest usytuowana w stosunku do wiązki wejściowej jak na rysunku 3b, fale o dłuższych długościach muszą propagować dalej wzdłuż siatki, nim zostaną odbite, opóźniają się zatem w stosunku do fal krótszych, które odbijają się na początku siatki. Tym sposobem można zwięźać poszerzone w wyniku dyspersji w światłowodzie impulsy świetlne, to znaczy kompensować zniekształcenia wywołane dyspersją w światłowodzie. Jest to jedno z ważnych zastosowań siatek o zmiennym okresie w telekomunikacji optycznej. W miernictwie, siatki o zmiennym okresie wykorzystuje się do konstrukcji czujników wielkości fizycznych oraz do budowy optycznych dyskryminatorów długości fali (częstotliwości). W ten sposób siatki te umożliwiają tworzenie prostych o bardzo dobrych własnościach dynamicznych, w pełni światłowodowych układów pomiarowych.

Wpływ odkształcenia i zmian temperatury siatki na zmianę długości fali Bragga można zapisać w postaci zależności [3]:

$$\Delta\lambda_B = \lambda_B \left\{ (1 - p_e)\varepsilon + (\alpha_A + \alpha_n)\Delta T \right\} \quad (6)$$

gdzie: ε jest odkształceniem względnym, $\alpha_A = (1/\Lambda)(\partial\Lambda/\partial T)$ jest współczynnikiem rozszerzalności temperaturowej światłowodu, którego wartość dla krzemu wynosi $0,55 \times 10^{-6}$, $\alpha_n = (1/n_e)(\partial n_e/\partial T)$ jest współczynnikiem temperaturowo-optycznym, który dla rdzenia krzemowego domieszkowanego germanem ma wartość $8,6 \times 10^{-6}$, p_e jest współczynnikiem odkształceniowo-optycznym, określonym wzorem:

$$p_e = \frac{n_e^2}{2} [p_{12} - \nu(p_{11} + p_{12})] \quad (7)$$

gdzie: p_{11} i p_{12} są to współczynniki elasto-optyczne, a ν jest stałą Poissona. Dla szkła krzemowego domieszkowanego germanem $p_{11} = 0,113$, $p_{12} = 0,252$, $\nu = 0,16$ oraz $n_e = 1,482$, z czego wynika $p_e \approx 0,22$. Z zależności (6) można wyznaczyć współczynniki względnej czułości odkształcenia k_ε i temperatury k_T siatki Bragga. Współczynnik k_ε siatki, dla ustalonej temperatury $\Delta T = 0$, wynosi:

$$k_\varepsilon = \frac{\Delta\lambda_B / \lambda_B}{\varepsilon} = 1 - p_e \approx 0,78 \cdot \mu\varepsilon^{-1} \quad (8)$$

Oznacza to, że czułość K_ε siatki o długości fali Bragga 1550 nm jako przetwornika odkształcenia względnego wynosi $K_\varepsilon = 1,2$ nm/me.

Współczynnik względnej czułości temperatury k_T siatki, przy stałym jej odkształceniu, można zapisać wzorem:

$$k_T = \frac{\Delta\lambda_B / \lambda_B}{\Delta T} = (\alpha_A + \alpha_n) \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \approx 9,15 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \quad (9)$$

Oznacza to, że czułość K_T siatki o fali Bragga 1550 nm jako przetwornika temperatury wynosi $K_T = 14,2$ pm/K.

Światłowodowe siatki Bragga jako przetworniki odkształcenia, umożliwiają przetwarzanie wielu innych wielkości mechanicznych (podobnie jak tensometry rezystancyjne), jeżeli wielkości te zamienić w odkształcenie. Oprócz tych możliwości wykorzystania siatek w miernictwie wielkości nieelektrycznych mogą one być także przetwornikami ciśnienia hydrostatycznego. Wpływ zmian ciśnienia na zmianę długości fali Bragga można zapisać w postaci zależności [6]:

$$\Delta\lambda_B = \lambda_B \left[-\frac{(1-2\nu)}{E} + \frac{n_e^2}{2E}(1-2\nu)(p_{11} + 2p_{12}) \right] \Delta P \quad (10)$$

gdzie E jest modułem Younga i dla światłowodu kwarcowego jego wartość wynosi $E = 7,25 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$. Współczynnik względnej czułości ciśnienia obliczony z zależności (10) ma wartość:

$$k_p = \frac{\Delta\lambda_B / \lambda_B}{\Delta P} \approx -3,02 \times 10^{-12} \text{ Pa}^{-1} \quad (11)$$

Oznacza to, że czułość K_p siatki o długości fali Bragga 1550 nm jako przetwornika ciśnienia hydrostatycznego wynosi $K_p = 4,68 \text{ pm/MP}$. Eksperymentalnie wyznaczony współczynnik czułości ciśnieniowej w pracy [6] ma jeszcze mniejszą wartość $k_p = -1,98 \times 10^{-12} \text{ Pa}^{-1}$. Z tego wynika, że światłowodowe siatki Bragga jako przetworniki ciśnienia mogą być stosowane w pomiarach bardzo dużych ciśnień.

3. Charakterystyka przetwarzania czujnika

W proponowanym czujniku ciśnienie impulsowe działa na jedną z powierzchni czołowych jednomodowego odcinka światłowodu, wytwarzając w nim sprężystą falę odkształceń, która propaguje we włóknie jako fala podłużna. Siatka Bragga, wytworzona w rdzeniu włókna, przetwarza falę odkształcenia na proporcjonalne zmiany jej centralnej długości fali. Te zmiany centralnej długości siatki dla jej osiowego odkształcenia ϵ , przy jej stałej temperaturze $\Delta T = 0$, można na podstawie (6) opisać wzorem

$$\Delta\lambda_B = \lambda_B(1 - p_e)\epsilon \quad (12)$$

Uwzględniając relację

$$\epsilon = \frac{P}{E} \quad (13)$$

otrzymuje się zależność na zmianę centralnej długości fali odbitej przez siatkę, w funkcji działającego na nią ciśnienia osiowego

$$\Delta\lambda_B = \frac{(1 - p_e)}{E} \lambda_B P \quad (14)$$

Na podstawie zależności (14) względny współczynnik czułości ciśnienia wynosi:

$$k_p = \frac{\Delta\lambda_B}{\lambda_B} \frac{1}{\Delta P} = \frac{1}{E}(1 - p_e) \approx 1,08 \times 10^{-11} \text{ Pa}^{-1} \quad (15)$$

Oznacza to, że czułość proponowanego czujnika z siatką Bragga o centralnej długości fali $\lambda_B = 1550 \text{ nm}$ wynosi

$$K_p = \frac{\Delta\lambda_B}{\Delta P} = K_p \lambda_B \approx 16,7 \text{ pm/MPa}. \quad (16)$$

Zatem proponowany czujnik może być stosowany do pomiaru wysokich ciśnień impulsowych.

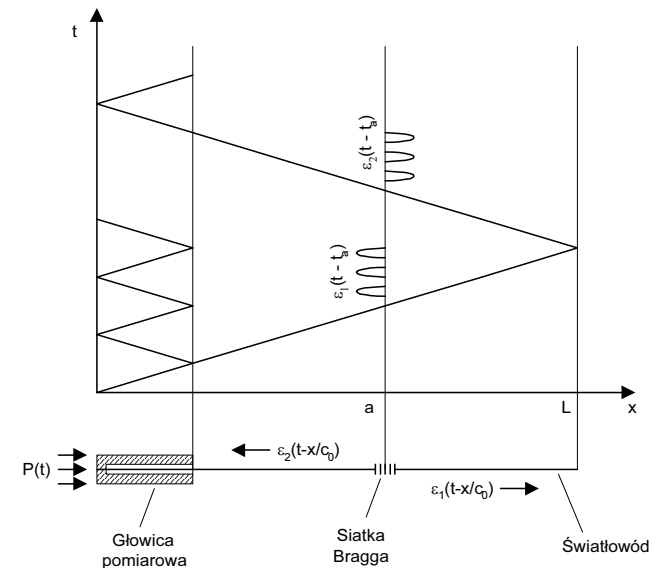
4. Zasada działania czujnika i układ pomiarowy

Czujnik jest zbudowany z jednomodowego odcinka światłowodu z naniesioną na jego rdzeniu siatką Bragga, którego jeden koniec jest zamocowany w głowicy pomiarowej. Odcinek światłowodu pełni rolę przetwornika mechanicznego, natomiast siatka Bragga stanowi przetwornik mechaniczno-optyczny o częstotliwościowym sygnale wyjściowym. Głowica pomiarowa w postaci tulei aluminiowej wprowadzona do obiektu umożliwia doprowadzenie ciśnienia do czujnika. Impuls ciśnienia wytwarza w głowicy i w światłowodzie fale odkształceń, które propagują w tych elementach jako fale podłużne. Graficzną ilustrację propagacji podłużnych fal sprężystych w cylindrycznym przecię z głowicą obrazuje wykres Lagrange'a przedstawiony na rysunku 5. Z tego wykresu widać, że pod wpływem impulsu ciśnienia przez siatkę propaguje ciąg impulsów, z których pierwszy jest bezpośrednim impulsem wywołanym wymuszeniem, pozostałe są odbitymi impulsami od końców głowicy. Impulsy odbite od końców głowicy nie są brane pod uwagę w pomiarach.

Dla poprawnego funkcjonowania czujnika powinien być spełniony warunek:

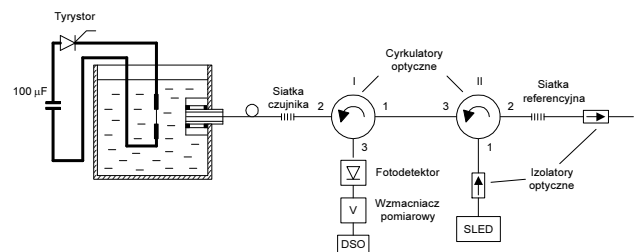
$$2\tau_g > \tau \quad (17)$$

gdzie τ_g jest czasem przejścia przez głowicę sprężystej fali odkształceń, τ jest czasem trwania wymuszenia.



Rys. 5. Wykres Lagrange'a propagacji fal podłużnych w cylindrycznym przecię o długości L z głowicą

Układ pomiarowy czujnika, który zawiera szerokopasmowe źródło światła, dwie siatki Bragga, jedną czujnika, drugą referencyjną, fotodetektor, wzmacniacz pomiarowy i oscyloskop cyfrowy DSO, przedstawiono na rysunku 6. Siatka referencyjna z siatką czujnika tworzą optyczny dyskryminator częstotliwości.



Rys. 6. Schemat układu pomiarowego z czujnikiem światłowodowym

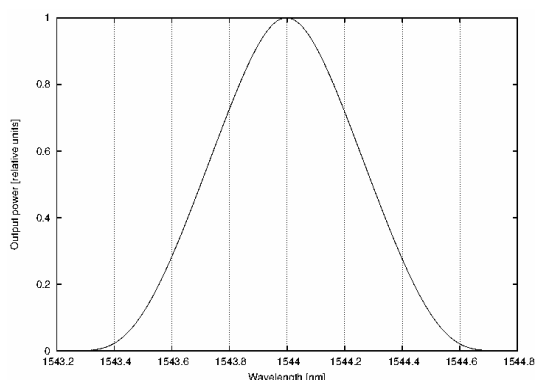
Szerokopasmowa wiązka światła diody SLED oświetla, poprzez wyprowadzenie 1 i 2 cyrkulatora II siatkę dyskryminatora. Odbita wiązka od tej siatki poprzez wyprowadzenia 2 i 3 cyrkulatora II oraz wyprowadzenia 1 i 2 cyrkulatora I pada na siatkę czujnika. Światło odbite od siatki czujnika doprowadzone jest poprzez wyprowadzenie 2 i 3 cyrkulatora I do fotodetektora, w którym przetwarzane jest na sygnał prądowy. Sygnał prądowy po wzmacnieniu i przetworzeniu w sygnał napięciowy w małoszumowym wzmacniaczu transimpedancyjnym doprowadzony jest do oscyloskopu cyfrowego.

Demodulację częstotliwości sygnału czujnika przeprowadzono przy pomocy dyskryminatora częstotliwości optycznej składającego się z dwóch identycznych siatek: siatki czujnika i siatki referencyjnej [7]. Dyskryminator pracuje w trybie odbiciowym. Moc optyczną wiązki wyjściowej dyskryminatora można zapisać w postaci zależności:

$$P_{wy} = \int_{\lambda_d}^{\lambda_g} I(\lambda) R_r(\lambda) R_c(\lambda - \Delta\lambda_B) d\lambda \quad (18)$$

przy czym: $I(\lambda)$ jest widmową gęstością mocy źródła światła, $R_r(\lambda)$ i $R_c(\lambda)$ są współczynnikami odbicia mocy siatek: referencyjnej i czujnika odpowiednio, λ_d i λ_g oznaczają dolną i górną długość fali, które określają pasmo źródła światła, $\Delta\lambda_B$ oznacza zmianę długości centralnej siatki czujnika wywołanej mierzaniem.

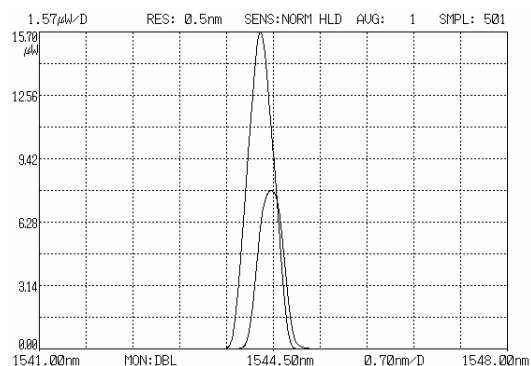
Zależność (18), która jest charakterystyką przetwarzania dyskryminatora optycznego, może być wyznaczona eksperymentalnie lub numerycznie. Wyznaczoną numerycznie tę charakterystykę przedstawiono na rysunku 7.



Rys. 7. Charakterystyka dyskryminatora częstotliwości sygnału optycznego

Współczynnik odbicia mocy równomiernej siatki Bragga, wykorzystywany do wyznaczenia charakterystyki dyskryminatora, obliczono numerycznie na podstawie zależności (2). Parametry symulowanej siatki dobrano w taki sposób, żeby jej centralna długość fali wynosiła 1544 nm oraz pasmo jej wiązki odbitej miało wartość 0,78 nm. Siatki równomierne użyte do budowy czujnika i dyskryminatora mają identyczne wartości parametrów jak siatka symulowana. Zakładając nieliniowość charakterystyki przetwarzania dyskryminatora nie większą niż 1 %, wyznaczono zakres przetwarzania. Jego wartość wynosi 0,255 nm, co odpowiada zakresowi przetwarzania odkształceń 212 $\mu\epsilon$, dla centralnej długości fali 1544 nm. Uwzględniając czułość czujnika 16,7 pm/MPa uzyskuje się zakres pomiarowy $\sim \pm 7,5$ MPa. Z przebiegu charakterystyki dyskryminatora widać, że w zależności od punktu pracy możliwa jest demodulacja sygnałów unipolarnych i bipolarnych. Punkt pracy dyskryminatora ustalano przez odkształcanie siatki referencyjnej, umocowanej w dwóch pozycjonerach umieszczonych na płycie optycznej. Odkształcanie siatki wykonywano przy pomocy śruby mikrometrycznej zainstalowanej w jednym z pozycjonerów, przy jednoczesnym pomiarze mocy wiązki wyjściowej dyskryminatora. Widmo gęstości mocy wiązki wyjściowej dyskryminatora przy takich samych centralnych częstotliwościach siatki czujnika i referencyjnej oraz przy tych częstotliwościach przesuniętych o połowę ich pasma przed-

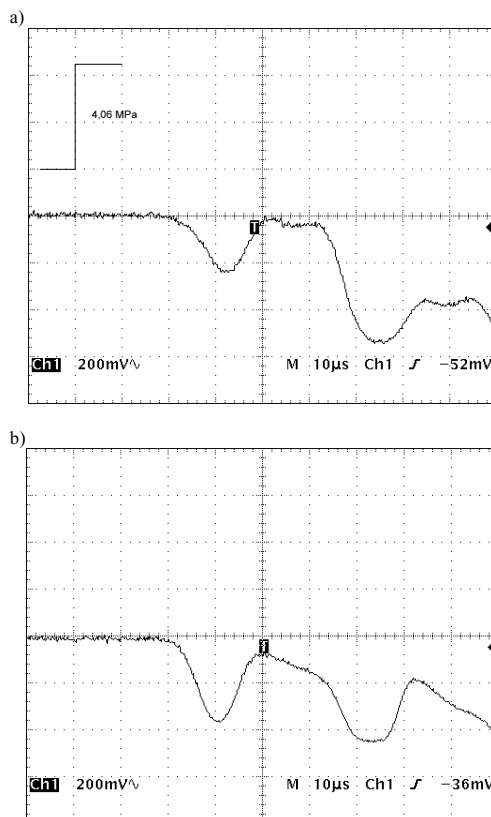
stawiono na rysunku 8. Moc optyczną oraz gęstość widmową mocy wiązki wyjściowej dyskryminatora mierzono optycznym analizatorem widma.



Rys. 8. Przebiegi widma gęstości mocy wiązki wyjściowej dyskryminatora, uzyskane dla takich samych częstotliwości centralnych siatki czujnika i siatki referencyjnej oraz dla tych częstotliwości przesuniętych o połowę pasma siatek

5. Pomiary

Czujnik został użyty do pomiaru ciśnień udarowych wywołanych wyładowaniem elektrycznym w wodzie. Wykorzystano w tym celu niskonapięciowe wyładowanie elektryczne, inicjowane eksplozją drutu miedzianego, uzyskane jako wynik rozładowania kondensatora olejowego o pojemności 100 μF , uprzednio naładowanego do ustalonej wartości napięcia [8]. Układ pomiarowy wzorcowano statycznie, ciśnieniem rozciągającym o wartości 4,06 MPa uzyskanym przez obciążenie siatki czujnika swobodnie zwisającą masą głowicy pomiarowej. Przykłady zarejestrowanych przebiegów ciśnień udarowych, wywołanych rozładowaniem w wodzie kondensatora naładowanego do napięcia 600 V i 800 V, przedstawiono na rysunku 9.



Rys. 9. Wycinki przebiegu napięcia wyjściowego toru pomiarowego z czujnikiem światłowodowym uzyskane w pomiarze ciśnienia wywołanego wyładowaniem elektrycznym w wodzie. Początkowe napięcie na rozładowywanym kondensatorze wynosi: a) 600 V, b) 800 V

Przebiegi te zawierają wiele impulsów, z których pierwszy jest miarą mierzonego impulsu ciśnienia, pozostałe są odbitymi impulsami od końców głowicy pomiarowej. Impulsy odbite nie są brane pod uwagę i nie zaburzają pomiaru pierwszego impulsu. Amplitudy zmierzonych impulsów ciśnienia, dla wyżej wymienionych wartości napięć początkowych na rozładowywanym kondensatorze, wynoszą 2,18 MPa, oraz 3,74 MPa odpowiednio.

6. Wnioski

Rezultaty przeprowadzonych pomiarów wskazują, że proponowany czujnik spełnia przyjęte założenia i może być stosowany w pomiarach ciśnień impulsowych. Ponadto pokazują także, że światłowodowe siatki Bragga z apodyzacją mogą być wykorzystane w układach optycznych dyskryminatorów częstotliwości, które umożliwiają demodulację sygnału proponowanego czujnika, pomimo ograniczonego zakresu przetwarzania tych dyskryminatorów. Podstawowe zalety nowego czujnika ciśnień impulsowych to prosta budowa, bardzo szerokie pasmo przenoszenia oraz częstotliwościowy sygnał wyjściowy. Jego wadą jest brak możliwości układowej eliminacji wpływu zginania pręta na wynik pomiaru, w przeciwieństwie do klasycznego pręta Hopkinsona, w którym eliminację wpływu fal gnących realizuje się układowo. Dalsze badania obejmują zastosowanie w czujniku siatek o zmiennym okresie, doskonalenie konstrukcji głowicy pomiarowej oraz opracowanie metod eliminacji wpływu fal gnących, na wynik pomiaru.

Rozwiązanie czujnika oraz rozwiązanie sposobu oświetlenia siatki czujnika zgłoszono do opatentowania [9, 10].

Praca została wykonana w ramach projektu badawczego KBN nr 3T10C 02527.

7. Literatura

- [1] Z. Kaczmarek: Pomiar i odtwarzanie przebiegów sił i ciśnień impulsowych. Kielce, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej 2001.
- [2] Z. Kaczmarek: A Frequency-Domain Deconvolution Approach for Impact Force Restoration with the Use of One-Point Strain Measurement. Metrology and Measurement Systems, 2002, vol. IX, no. 1, pp.3-17.
- [3] A. Othonas, K. Kalli: Fiber Bragg Gratings Fundamentals and Applications in Telecommunications and Sensing. Artech House, Boston London, 1999.
- [4] D. Kersey, M. A. Davis: Fiber grating sensors. Journal of Lightwave Technology, 1997, vol. 15, no. 8, pp. 1442-1462.
- [5] G. P. Agrawal: Nonlinear Fiber Optic. Academic Press, 1995.
- [6] M. G. Xu, L. Reekie, Y. T. Chow, J. P. Dakin: Optical in fibre grating high pressure sensor. Electronics Letters 1993, no. 4, pp. 398-399.
- [7] A. Józwick, C. Kaczmarek, T. Kaczmarek, Z. Kaczmarek: Optical wavelength discriminator with an apodized uniform fiber Bragg grating: Proceedings of SPIE Lightguides and their Applications. 2003, vol. 5576, pp. 50-53.
- [8] Ch. Ferchichi: Pomiary ciśnień udarowych wytwarzanych wyładowaniem elektrycznym. Rozprawa doktorska Warszawa, Politechnika Warszawska Wydział Elektryczny, 1996.
- [9] Z. Kaczmarek: Zgłoszenie patentowe „Czujnik do pomiaru ciśnień i sił impulsowych 27. 08. 2004.
- [10] Z. Kaczmarek, T. Kaczmarek: Zgłoszenie patentowe „Sposób i układ oświetlenia siatek Bragga” 27. 06 2005.

Title: Fiber Bragg grating impulsive pressure sensor

Artykuł recenzowany

IMPREZY NAUKOWO-TECHNICZNE

KONGRESY ☆ KONFERENCJE ☆ SYMPOZJA ☆ TARGI ☆ WYSTAWY

NAUKA

14-17 maja 2006 - Ustroń, POLSKA
PPM 2006 - V Konferencja Naukowo-Techniczna
PODSTAWOWE PROBLEMY METROLOGII *
 Organizator: Politechnika Śląska w Gliwicach
 Instytut Metrologii i Automatyki Elektrotechnicznej
 ul. Akademicka 10, 44-100 Gliwice
 tel. (032) 237 25 17, 237 12 41 fax. (032) 237 20 34
 Prof. Tadeusz Skubis - Przewodniczący Komitetu Organizacyjnego
 Agnieszka Skórkowska - Sekretariat Konferencji
 e-mail: agnieszka.skorkowska@polsl.pl
<http://www.wega.elekt.polsl.gliwice.pl/ppm>

21-24 czerwca 2006 - Łagów, POLSKA
VI Konferencja Naukowa
SYSTEMY POMIAROWE W BADANIACH NAUKOWYCH
I W PRZEMYSŁE *
 Organizator: Uniwersytet Zielonogórski
 Instytut Metrologii Elektrycznej
 dr inż. Włodzimierz Kujanek
 ul. Podgórna 50, 65-246 Zielona Góra
 tel. (068) 328 22 22, fax (068) 325 46 15
 e-mail: W.Kujanek@ime.uz.zgora.pl; <http://www.ime.uz.zgora.pl>

NAUKA

4-6 września 2006 - Warszawa, POLSKA
MKM 2006 - Międzyuczelniana Konferencja Metrologów *
 Organizator: Politechnika Warszawska
 Zakład Systemów Informacyjno-Pomiarowych
 Prof. Remigiusz Rak
 ul. Koszykowa 75, 00-661 Warszawa
 tel. (022) 660 73 70, fax (022) 660 56 42
 e-mail: mkm@iem.pw.edu.pl; <http://www.mkm.iem.pw.edu.pl>

16-17 października 2006 - Częstochowa, POLSKA
SPM 2006 - VIII Sympozjum Pomiarów Magnetycznych *
 Organizator: Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny
 dr hab. inż. Roman Janiczek
 ul. Armii Krajowej 17, 42-200 Częstochowa
 tel. (034) 325 08 81, (034) 325 08 90, (034) 325 08 95
 e-mail: janiczek@el.pcz.czest.pl; <http://www.spm.el.pcz.czest.pl>

16-18 listopada 2006 - Ustroń-Jaszowiec, POLSKA
TTP 2006 - VII Krajowa Konferencja
TERMOGRAFIA I TERMOMETRIA W PODCZERWIENI *
 Organizator: Politechnika Łódzka, Instytut Elektroniki
 ul. Wólczańska 223, 90-924 Łódź
 tel. (042) 631 26 35, 631 26 56, 631 26 37, fax (042) 636 22 38
 e-mail: ttp@p.lodz.pl; <http://thermo.p.lodz.pl>

* pod patronatem PAK-u