

**MATERIAŁY
VIII MIĘDZYNARODOWEJ
NAUKOWI-PRAKTYCZNEJ
KONFERENCJI**

**STRATEGICZNE PYTANIA
ŚWIATOWEJ NAUKI – 2012**

07-15 lutego 2012 roku

**Volume 31
Techniczne nauki
Budownictwo i
architektura**

Przemysł
Nauka i studia
2012

Wydawca: Sp. z o.o. «Nauka i studia»

Redaktor naczelna: Prof. dr hab. Sławomir Górniak.

Zespół redakcyjny: dr hab. Jerzy Ciborowski (redaktor prowadzący), mgr inż. Piotr Jędrzejczyk, mgr inż. Zofia Przybylski, mgr inż. Dorota Michałowska, mgr inż. Elżbieta Zawadzki, Andrzej Smoluk, Mieczysław Luty, mgr inż. Andrzej Leśniak, Katarzyna Szuszkiewicz.

Redakcja techniczna: Irena Olszewska, Grażyna Klamut.

Dział sprzedaży: Zbigniew Targalski

Adres wydawcy i redakcji:

37-700 Przemyśl, ul. Łukasieńskiego 7

tel (0-16) 678 33 19

e-mail: praha@rusnauka.com

Druk i oprawa:

Sp. z o.o. «Nauka i studia»

Cena 54,90 zł (w tym VAT 22%)

Materiały VIII Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji «Strategiczne pytania światowej nauki - 2012» Volume 31. Techniczne nauki. Budownictwo i architektura.: Przemysł. Nauka i studia - 112 str.

W zbiorze trzymają się materiały VIII Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji «Strategiczne pytania światowej nauki - 2012». 07-15 lutego 2012 roku po sekcjach: Techniczne nauki. Budownictwo i architektura.

Wszelkie prawa zastrzeżone.

Żadna część ani całość tej publikacji nie może być bez zgody

Wydawcy – Wydawnictwa Sp. z o.o. «Nauka i studia» – reprodukowana,

Użyta do innej publikacji.

ISBN 978-966-8736-05-6

© Kolektyw autorów, 2012

© Nauka i studia, 2012

4. El-Sallabi H. M. and Vainikainen P. Radio wave propagation in perpendicular streets of urban street grid for microcellular communications / Progress In Electromagnetics Research, 2003, PIER 40, pp.229–254.

5. Рассел Стюарт, Норвинг Питер, Искусственный интеллект: современный подход, М.: Издательский дом Вильямс, 2006, 1408 с.

К. т. н., доцент Рудик А. В.

*Національний університет водного господарства та природокористування
(Україна, м. Рівне).*

ПРЕЦИЗИЙНІ ФАЗООБЕРТАЧІ ОПТИЧНОГО ДІАПАЗОНУ

На сучасному етапі технічного розвитку актуальною задачею є отримання каліброваного фазового зсуву в оптичному діапазоні. Як показано в роботі [1], використання лазерної інтерферометрії, методів модуляції оптичного випромінювання на основі акустооптичної взаємодії та використання двочастотних лазерів дозволяє суттєво підвищити точність вимірювання та задавання кута фазового зсуву (КФЗ) в радіооптичному діапазоні.

Звук, який поширюється в речовині, призводить до зміни її щільності, що в свою чергу спричиняє зміну коефіцієнту заломлення з періодом, який дорівнює довжині акустичної хвилі. Світловий промінь дифрагує на цій просторовій періодичній структурі та відхиляється від попереднього напрямку.

Дифракція, в якій спостерігається лише один дифрагований промінь, називається дифракцією Бреґґа. На практиці такий режим виникає у випадку, коли звукове поле має достатньо велику глибину і світловий промінь на своєму шляху перетинає один або більше періодів зміни коефіцієнта заломлення.

Враховуючи, що частота ультразвуку $F = \frac{\Omega}{2\pi} \approx 10^8$ Гц набагато менша час-

тоти світлової хвилі $f = \frac{\omega}{2\pi} \approx 10^{15}$ Гц, кут θ між фронтом звукової хвилі та нап-

рямком поширення світла визначається як $\sin \theta = \frac{K}{2k} = \frac{\lambda}{2\Lambda}$, $\theta = \frac{\lambda f}{2V}$, де $K = \frac{\Omega}{V}$

– хвильовий вектор звукової хвилі; V – швидкість ультразвуку; λ та Λ – від-

повідно довжини хвиль світлового променя та ультразвуку; $k = \frac{\omega}{c} = \frac{2\pi}{\lambda}$ – хви-

льовий вектор світлового променя; c – швидкість світла у вакуумі (повітрі).

Критерієм, що визначає режим дифракції, є величина $Q = \frac{K^2 L_0}{k} = 2\pi \frac{\lambda L_0}{\Lambda^2}$, де L_0 – глибина звукового поля в напрямку поширення світла. Якщо $Q \geq 4\pi$, тобто $\Lambda \leq \sqrt{2\lambda L_0}$, то вважають, що дифракція відбувається в режимі Брегга.

У випадку слабкої взаємодії напруженість поля вихідного світлового променя $E_1(t)$ можна виразити через напруженість світлового променя $E_0(t)$, що падає, таким чином [2]:

$$E_1(t) \approx E_0(t) - \frac{1}{4} j k C L_0 E_0 \left\{ t - \frac{\Delta X}{V} \right\} e^{j\{(\omega + \Omega)t - K \Delta X\}} - \frac{1}{4} j k C L_0 E_0^* \left\{ t - \frac{\Delta X}{V} \right\} e^{j\{(\omega - \Omega)t + K \Delta X\}}, \quad (1)$$

де C – константа, ΔX – лінійне переміщення.

Якщо акустооптична система обробки сигналу працює на основі дифракції Брегга, то світловий промінь повинен спрямовуватися на неї під відповідним кутом Брегга. В цьому випадку вихідний промінь описується співвідношенням (1) з тією лише різницею, що або другий, або третій член відсутній. В останньому співвідношенні зірочка означає комплексно – спряжену величину.

На рис.1 показано схему взаємодії світлового променя, спрямованого на звукопровід, в якому поширюється акустична хвиля.

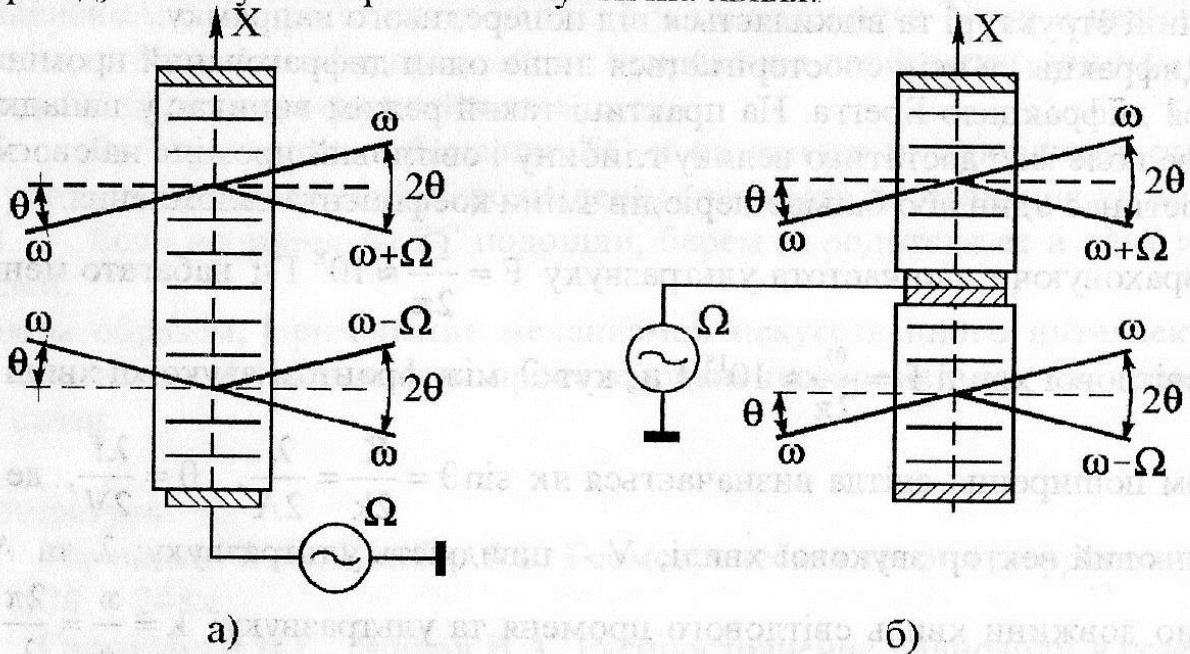


Рисунок 1 – Дифракція в режимі Брегга: зсув дифрагованого пучка по частоті

Якщо акустична хвиля набігає на світлову, то дифрагований світловий промінь зміщується по частоті донизу на величину Ω (нижня частина рис. 1, а). Рис. 1, а (верхня частина) ілюструє дифракцію Брегга зі зміщенням частоти доверху, тобто тоді, коли акустична хвиля відходить від світлового променя.

Якщо звукопроводи розташовані так, як показано на рис. 1, б, то акустична хвиля буде набігати на світлову (дифрагований промінь зміщується по частоті донизу), або бігти від падаючої світлової хвилі (дифрагований промінь зміщується по частоті доверху). Переміщення звукопроводів вздовж осі X на величину ΔX призводить до того, що дифрагований світловий промінь у верхній частині рис. 1, б набуває негативний фазовий зсув $K \Delta X$, а дифрагований світловий промінь у нижній частині рис. 1, б – позитивний фазовий зсув $K \Delta X$. При інтерференції дифрагованих світлових променів фазовий зсув за рахунок переміщення звукопроводів на величину ΔX подвоюється, тобто

$\Delta\varphi = 2K \Delta X = 4\pi \frac{\Delta X}{\Lambda}$, а масштаб перетворення для акустооптичного модулятора (АОМ) з плавненого кварцу при $\Lambda = 75$ мкм дорівнює $m = \frac{k}{K} = \frac{\Lambda}{\lambda} = \frac{75 \cdot 10^{-6}}{0.63 \cdot 10^{-6}} = 120$, де $\lambda = 0.63$ мкм – робоча довжина хвилі гелій-неонового лазера.

При збільшенні масштабного коефіцієнта m підвищується точність та розрізнявальна здатність задавання КФЗ в оптичному діапазоні, а також спрощується структура інтерферометра [3]. Наприклад, задаючи лінійне переміщення з похибкою $\Delta l = 0.005$ мкм (прилад ВПЛ – 30К) та використовуючи АОМ в діапазоні частот $40 \div 110$ МГц (довжина акустичної хвилі для більшості промислових модуляторів – плавлений кварц, скло, германій, молібдат свинцю – складає $\Lambda = 0.033 \div 0.149$ мм), можна задавати КФЗ з похибкою

$$\Delta\varphi = 360^\circ \frac{\Delta l}{\Lambda} = 360^\circ \frac{\Delta l F}{V} = 360^\circ \frac{5 \cdot 10^{-9} \cdot F}{V} = 1.8 \cdot 10^{-6} \frac{F}{V} = 0.0121^\circ \div 0.0545^\circ,$$

що дозволяє говорити про високу точність завдання КФЗ. На частоті 100 МГц модулятори з основних акустооптичних модуляторів мають такі похибки завдання КФЗ: плавлений кварц (SiO_2 , $V = 5960$ м/с) – $\Delta\varphi = 0.03^\circ$; молібдат свинцю та тяжкий флінт (PbMoO_4 та ТФ-7, $V = 3630$ м/с) – $\Delta\varphi = 0.05^\circ$; германій (Ge , $V = 5500$ м/с) – $\Delta\varphi = 0.033^\circ$. Розширити частотний діапазон вище 110 МГц можна гетеродинуванням без суттєвих похибок.

Використання ефекту дифракції світла на ультразвуці дозволило розробити пристрій вимірювання фазової затримки, що вноситься оптично прозорими об'єктами [4], та прецизійний пристрій задавання КФЗ в діапазоні низьких частот, який реалізує калібрування КФЗ з похибкою не більше 0.083° [5].

Використовуючи систему з двох АОМ (паралельної обробки), які збуджуються від одного джерела з частотою Ω , та переміщуючи один з них вздовж фронту поширення акустичної хвилі (рис.2, а), можна отримати прецизійний фазообертач, для якого похибка задавання КФЗ (при використанні прецизійних вимірювачів мікропереміщень) складає не більше сотих часток градуса. Такий прецизійний фазообертач оптичного діапазону складається з лазера 1, напівпрозорого дзеркала 2, відбивального дзеркала 3, радіочастотного генератора 4, вимірювача мікропереміщень 5 та АОМ 6 і 7, розташованих на стабілізаційній платформі 8. При переміщенні АОМ одночасно (але в різних напрямках) можна отримати подвоєний фазовий зсув, однак в цьому випадку зменшується розрізнявальна здатність задавання КФЗ. Недоліком такого оптичного фазообертача є те, що частоти вихідних випромінювань відрізняються від частоти випромінювання лазера 1 на величину Ω (частоту сигналу радіочастотного генератора 4).

При використанні послідовної обробки прецизійний фазообертач оптичного діапазону (рис.2, б) складається з лазера 1, вимірювача мікропереміщень 2, АОМ 3 та 4, розташованих на стабілізаційній платформі 5, та радіочастотного генератора 6. В такому фазообертачі на виході першого АОМ 3 використовується дифрагований промінь -1 порядку, який має частоту $\omega - \Omega$, а на виході другого АОМ 4 – дифрагований промінь $+1$ порядку, який в даному випадку буде мати частоту ω . Тому для такого прецизійного фазообертача оптичного діапазону частота вихідного випромінювання буде збігатися з частотою випромінювання лазера 1, а значення заданого КФЗ буде визначатися переміщенням першого АОМ 3 вздовж фронту поширення акустичної хвилі. Збудження АОМ, як і в першому випадку, відбувається від одного джерела (генератора 6).

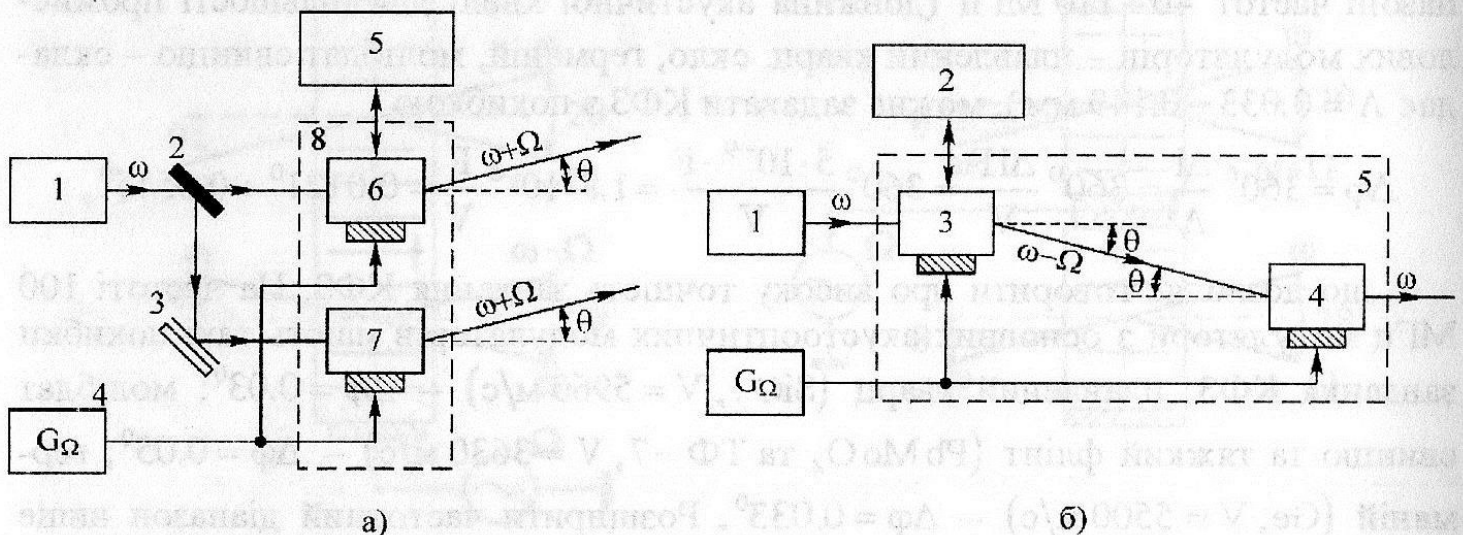


Рисунок 2 – Структурні схеми прецизійних фазообертачів оптичного діапазону з перетворенням частоти лазерного випромінювання (а) та без перетворення частоти (б)

Таким чином, при використанні системи з двох АОМ, що збуджуються від одного джерела, можна отримати на виході системи регульований фазовий зсув в межах $0 \div 2\pi$, при цьому похибка задавання КФЗ складе не більше сотих часток градусу.

Л і т е р а т у р а:

1. Сурьян В.Я., Сурьян А.В., Рудик А.В. Использование фазового компарирования для расширения функциональных возможностей единого эталона частоты – времени – длины // Метрология и измерительная техника: Тезисы докладов Украинской НТК. Харьков. 1995. С. 57.
2. Kogpel A. «Acousto – optic signal processing», in Optical Processing, Yu.E.Nesterikhin and G.W.Stoke, Eds. New York: Plenum, 1976, ch.10, pp. 171–194.
3. Рудик А.В., Сур'ян О.В. Акустооптический способ измерения малых перемещений // Вісник ВПІ. – 1995. – №2. – С. 58–62.
4. Патент № 18058 (Україна), МКІ G 01 В 9/00. Фазометр оптичного діапазону//Сур'ян В.Я., Сур'ян О.В., Рудик А.В.//Бюл. № 5, 1997.
5. Патент № 23191 (Україна), МКІ G 01 R 25/04. Прецизійний калібратор фази інфранізьких та низьких частот//Сур'ян В.Я., Рудик А.В.//Бюл. № 4, 1998.