

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки



## **ЗБІРНИК**

**студентських наукових статей**

«Автоматизація та приладобудування»

«Automation and Development of Electronic Devices»

**ADED-2020**

(Випуск 1)

[електронне видання]



<http://nure.ua/department/kafedra-komp-yuterno-integrovanih-tehnologiy-avtomatizatsiyi-ta-mehatroniki-kitam>



<http://itez.zntu.edu.ua/>



<http://kafea.kdu.edu.ua>

Харків 2020

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки  
кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки  
(КІТАМ)



## **ЗБІРНИК**

**студентських наукових статей**

«Автоматизація та приладобудування»

«Automation and Development of Electronic Devices»

**ADED-2020**

(Випуск 1)

[електронне видання]

Харків 2020

АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА ПРИЛАДОБУДУВАННЯ («Automation and Development of Electronic Devices» ADED-2020) [Електронний ресурс] : збірник студентських наукових статей / Харківський національний університет радіоелектроніки ; [редкол.: І.Ш. Невлюдов та ін.]. – Харків : ХНУРЕ, 2020. – Вип. 1. – 232 с.

COLLECTION OF STUDENTS' SCIENTIFIC PAPER «AUTOMATION AND DEVELOPMENT OF ELECTRONIC DEVICES» ADED-2020 Part 1 (Key infrastructure 2020) - Kharkiv/ The Editorial.: Nevlyudov I.Sh. (head), that all. Kharkiv: Kind of Kharkiv National University of Radio Electronics [electronic edition], 2020.- 232 p with.

Рекомендовано рішенням  
Науково-технічної ради  
Харківського національного  
університету радіоелектроніки  
протокол №6 від 29.11.2018

Рекомендовано рішенням Вченої ради  
факультету Автоматики і комп'ютеризованих  
технологій  
Харківського національного  
університету радіоелектроніки  
протокол № 8 від 28.05.2020

Збірник містить наукові статті студентів кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки (КІТАМ) Харківського національного університету радіоелектроніки, кафедри Інформаційних технологій електронних засобів (ІТЕД) Запорізького національного технічного університету та кафедри Електронних апаратів (ЕА) Кременчуцького національного університету ім. М. Остроградського які навчаються за спеціальностями: 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, 172 Телекомунікації та радіотехніка, 171 Електроніка та 163 Біомедична інженерія, першого (бакалаврського), другого (магістерського) рівнів вищої освіти. Статті надані в авторській редакції.

Наведена структура має узагальнений вигляд, адже атрибутів у кожній сутності в рамках виробничого комплексу набагато більше і дана структура в подальшому буде розширена.

Виробничий комплекс має складну ієрархічну структуру управління, отже користувачі системи повинні бути добавлені в систему з різними рівнями доступу до інформації в системі. Наприклад, головний інженер-технолог повинен мати рівень доступу, який дозволяє йому додавати та видаляти інформацію з системи. Всі інші працівники можуть використовувати систему для пошуку та друкування документів, які їм потрібні для виготовлення виробу, але не кожен з них повинен мати права на видалення або редагування документів. Отже, в системі повинен бути реалізований механізм забезпечення різного рівня доступу для користувачів системи.

Запропонована до розроблення система дозволить отримувати потрібну документацію кожному працівнику у відповідності до його рівня доступу, отже кожен користувач отримає можливість швидко переглядати та редагувати виділену йому інформацію. Впровадження такої системи дозволить організувати роботу над проектом в режимі, розрахованому на багато користувачів, здійснювати обмін інформацією між учасниками процесу виробництва (які часто знаходяться в різних місцях виробничого комплексу) в реальному масштабі часу. У той же час, щоб уникнути несанкціонованого внесення змін до документів, різним користувачам надаються різні режими доступу.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Інформаційні системи і технології в управлінні організацією: навчальний посібник / О.М. Кузьміна, Т.В. Янчук. – К.: Знання, 2015. – 312 с.
2. Кузьмин А. Е. Формирование и использование информационной системы управления экономическим развитием предприятия: монография / А. Е. Кузьмин, Н. Г. Гсоргиади. – Львов: Львовская политехника, 2006. – 368 с.
3. Пономаренко В. С. Информационные системы и технологии в экономике / В. С. Пономаренко. – М.: Академия, 2002. – 544 с.
4. PDM-система управления данными об изделии [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.it.ua/ru/knowledge-base/technology-innovation/product-data-management-pdm>.

*Науковий керівник: Бабак Ірина Миколаївна, к.т.н., доцент, доцент кафедри КІТАМ Харківського національного університету радіоелектроніки.*

УДК 621.762

## АНАЛІЗ ІНТЕРФЕРОМЕТРІВ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ФОРМ ПОВЕРХОНЬ

**К.В. Стеценко**

Харківський національний університет радіоелектроніки

Україна, 61166, Харків, пр. Науки, 14

E-mail: [kateryna.stetsenko@nure.ua](mailto:kateryna.stetsenko@nure.ua)

**Анотація:** На основі літературних даних і публікацій аналізуються різні типи інтерферометра. Розглянуті основні переваги і недоліки різних типів інтерферометрів.

**Ключові слова:** інтерферометр

## ANALYSIS OF INTERFEROMETERS FOR SURFACE SHAPE CONTROL

**K.V. Stetsenko**

Kharkiv National University of Radio Electronics

Ukraine, 61166, Kharkiv, pr. Nauki, 14

E-mail: kateryna.stetsenko@nure.ua

**Annotation:** Based on the literary tribute and publication analysis of the type of the interferometer. There are major glitches and shortcomings of various types of interferometers.

**Key words:** interferometer

Інтерферометр – це прилад, дія якого заснована на явищі інтерференції хвиль. У відповідності з природою хвиль існують атомний, інтерферометр акустичний, пристрій для акустичних вимірювань, засноване на інтерференції плоских акустичних хвиль і для електромагнітних хвиль. До останніх відносяться оптичний інтерферометр та радіоінтерферометр.

Розглянуті оптичний інтерферометр, які набули найбільшого поширення як прилади для вимірювання довжин хвиль спектральних ліній і їх структури; для вимірювання показників заломлення прозорих середовищ; в метрології для абсолютних і відносних вимірювань довжин і переміщень тіл; для вимірювання кутових розмірів зірок (зоряний інтерферометр); для контролю форми, мікрорельєфу і деформації поверхонь оптичних деталей та ін.[5]

Застосування інтерферометра в одночастотних лазерах дозволило істотно поліпшити і автоматизувати техніку інтерферометричних вимірювань, підвищити точність вимірювання. У лазерних інтерферометрах виробляється фотоелектрична реєстрація різниці ходу, вираженої безпосередньо в довжинах хвиль. Створено голографічний інтерферометр., що дозволяють реєструвати невеликі зміни форми поверхні або предмета, що виникають в результаті тих чи інших деформацій.

Багатопроменеві інтерферометри використовуються головним образом як спектрометри з високою роздільною здатністю для дослідження тонкої структури спектральних ліній, а двопроменеві інтерферометри є в основі технічними приладами. Існують різні типи інтерферометрів:

- інтерферометр Фабрі-Перо;
- інтерферометр Майкельсона;
- інтерферометр Фізо;
- інтерферометр Сан'яка;
- інтерферометр Маха-Цендера;
- інтерферометр Релея.

Принцип дії всіх інтерферометрів однаковий, і розрізняються вони лише методами отримання когерентних хвиль і тим, яка величина безпосередньо вимірюється. Пучок світла за допомогою того або іншого пристрою просторово розділяється на два або більше число когерентних пучків, які проходять різні оптичні шляхи, а потім зводяться разом. У місці сходження пучків спостерігається інтерференційна картина, вигляд якої, тобто. Е. Форма і взаємне розташування інтерференційних максимумів і мінімумів, залежить від способу поділу пучка світла на когерентні пучки, від числа інтерферируючих пучків, різниці їх оптичних шляхів (оптичної різниці ходу), відносної інтенсивності, розмірів джерела, спектрального складу світла.

Методи отримання когерентних пучків в інтерферометрах дуже різноманітні, тому існує велика кількість їх різних конструкцій. За кількістю інтерферують пучків світла оптичні інтерферометри можна розбити на багатопроменеві і двопроменеві.

Прикладом двопроменевого інтерферометра може служити інтерферометр Майкельсона зображено на рис. 1. Паралельний пучок світла джерела  $L$ , потрапляючи на напівпрозору

пластинку  $P1$ , розділяється на пучки 1 і 2. Після відбиття від дзеркал  $M1$  і  $M2$  і повторного проходження через пластинку  $P1$  обидва пучка потрапляють в об'єктив  $O2$ , в фокальній площині  $D$  якого вони інтерферують. Оптична різниця ходу  $D = 2(AC - AB) = 2l$ , де  $l$  – відстань між дзеркалом  $M2$  і уявним зображенням  $M1 \phi$  дзеркала  $M1$  в платівці  $P1$ . Таким чином, спостерігається інтерференційна картина еквівалентна інтерференції в повітряній пластинці товщиною  $l$ . Якщо дзеркало  $M1$  розташоване так, що  $M1 \phi$  і  $M2$  паралельні, то утворюються смуги рівного нахилу, локалізовані в фокальній площині об'єктива  $O2$  і мають форму концентричних кілець. Якщо ж  $M2$  і  $M1 \phi$  утворюють повітряний клин, то виникають смуги рівної товщини.

Принцип дії всіх інтерферометрів однаковий, і розрізняються вони лише методами отримання когерентних хвиль і тим, яка величина безпосередньо вимірюється. Пучок світла за допомогою того або іншого пристрою просторово розділяється на два або більше число когерентних пучків, які проходять різні оптичні шляхи, а потім зводяться разом. У місці сходження пучків спостерігається інтерференційна картина, вигляд якої, тобто. Форма і взаємне розташування інтерференційних максимумів і мінімумів, залежить від способу поділу пучка світла на когерентні пучки, від числа інтерферуючих пучків, різниці їх оптичних шляхів (оптичної різниці ходу), відносної інтенсивності, розмірів джерела, спектрального складу світла.

Методи отримання когерентних пучків в інтерферометрах дуже різноманітні, тому існує велика кількість їх різних конструкцій. За кількістю інтерферуючих пучків світла оптичні інтерферометри можна розбити на багатопроменеві і двопроменеві.

Прикладом двопроменевого інтерферометра може служити інтерферометр Майкельсона зображено на рис. 1. Паралельний пучок світла джерела  $L$ , потрапляючи на напівпрозору пластинку  $P1$ , розділяється на пучки 1 і 2. Після відбиття від дзеркал  $M1$  і  $M2$  і повторного проходження через пластинку  $P1$  обидва пучка потрапляють в об'єктив  $O2$ , в фокальній площині  $D$  якого вони інтерферують. Оптична різниця ходу  $D = 2(AC - AB) = 2l$ , де  $l$  – відстань між дзеркалом  $M2$  і уявним зображенням  $M1 \phi$  дзеркала  $M1$  в платівці  $P1$ . Таким чином, спостерігається інтерференційна картина еквівалентна інтерференції в повітряній пластинці товщиною  $l$ . Якщо дзеркало  $M1$  розташоване так, що  $M1 \phi$  і  $M2$  паралельні, то утворюються смуги рівного нахилу, локалізовані в фокальній площині об'єктива  $O2$  і мають форму концентричних кілець. Якщо ж  $M2$  і  $M1 \phi$  утворюють повітряний клин, то виникають смуги рівної товщини, локалізовані в площині клина  $M2M1 \phi$  і представляють собою паралельні лінії.

Інтерферометр Майкельсона широко використовується у фізичних вимірах і технічних приладах. З його допомогою вперше була виміряна абсолютна величина довжини хвилі світла, доведена незалежність швидкості світла від руху Землі.[1]

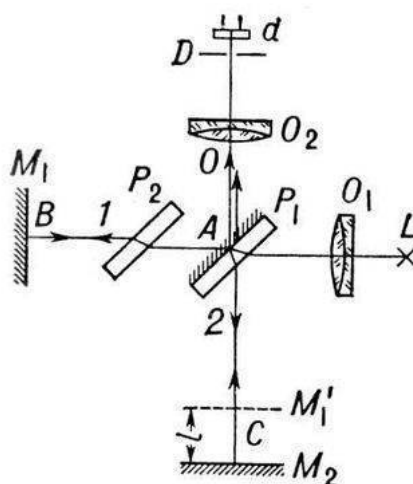


Рисунок 1 – Інтерферометр Майкельсона

Пучок світла  $S$  після відображення від передньої і задньої поверхонь першої пластини  $P_1$  розділяється на два пучки  $S_1$  і  $S_2$ . Пройшовши через кювети  $K_1$  і  $K_2$ , пучки, що відбилися від поверхонь пластини  $P_2$ , потрапляють в зорову трубу  $T$ , де інтерферують, утворюючи смуги рівного нахилу. Якщо одна з кювет наповнена речовиною з показником заломлення  $n_1$ , а інша з  $n_2$ , то по зсуву інтерференційної картини на число смуг  $m$  в порівнянні з випадком, коли обидві кювети наповнені одним і тим же речовиною, можна знайти  $Dn = n_1 - n_2 = ml/l$  ( $l$  - довжина кювети).

Існують двопроменеві інтерферометри, призначені для вимірювання показників заломлення газів і рідин, – інтерференційні рефрактометри. Один з них – інтерферометр Жамена зображено на рис. 2.

Різновидами інтерферометра Жамена є інтерферометр Маха – Цендера і інтерферометр Рождественського зображено на рис. 3, де використовуються дві напівпрозорі платівки  $P_1$  і  $P_2$  і два дзеркала  $M_1$  і  $M_2$ .

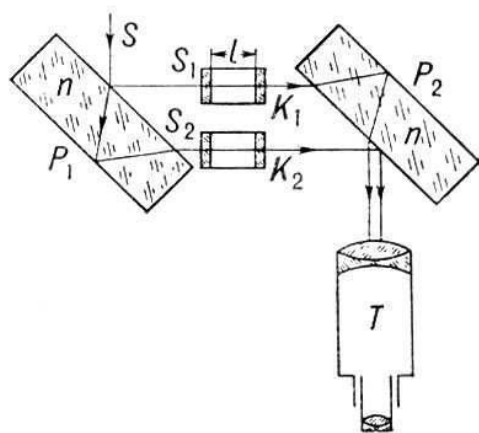
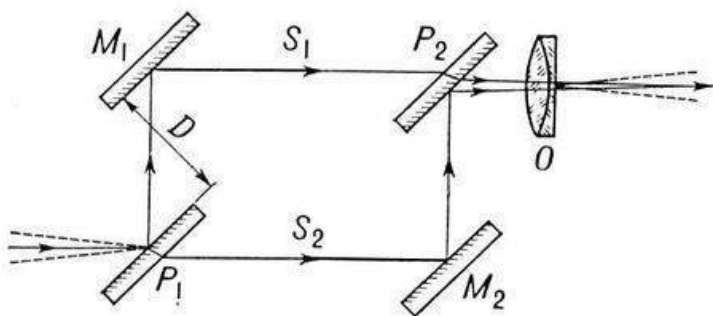


Рисунок 2 – Інтерферометр Жамена

У цих інтерферометрів відстань між пучками  $S_1$  та  $S_2$  може бути зроблено дуже великим, що полегшує установку в один з них різних досліджуваних об'єктів, тому вони широко застосовуються в аерогазодинамічних дослідженнях.



Малюнок 3 – Інтерферометр Рождественського[3]

У інтерферометрі Релея зображено на рис. 4 інтерферовані пучки виділяються за допомогою двох щілинних діафрагм  $D$ . Пройшовши кювети  $K_1$  і  $K_2$ , ці пучки збираються в фокальній площині об'єктивом  $O_2$ , де утворюється інтерференційна картина смуг рівного нахилу, яка розглядається через окуляр  $O_3$ . При цьому частина пучків, що виходять з діафрагм, проходить нижче кювет і утворює свою інтерференційну картину, розташовану нижче першої. Якщо показники заломлення  $n_1$  і  $n_2$  речовин в кюветах, то з-за різниці ходу в кюветах верхня картина зміститься щодо нижньої. Вимірюючи величину зсуву по числу смуг  $m$ , можна знайти  $Dn$ .

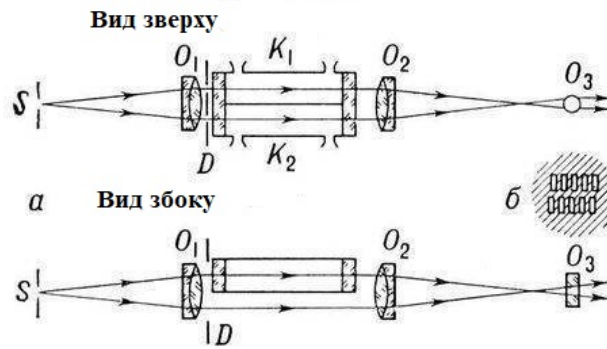


Рисунок 4 – Інтерферометр Релея

Точність вимірювання показників заломлення за допомогою інтерференційних рефрактометрів дуже висока і досягає 7-го і навіть 8-го десяткового знака.

Багатопроменевий інтерферометр Фабрі-Перо зображено на рис. 5 складається з двох скляних або кварцових платівок  $P_1$  і  $P_2$ , на зверненні один до одного і паралельні між собою поверхні яких нанесені дзеркальні покриття з високим (85-98%) коефіцієнтом відображення. Паралельний пучок світла, що падає з об'єктиву  $O_1$ , в результаті багаторазових відображень від дзеркал утворює велике число паралельних, когерентних пучків з постійною різницею ходу між сусідніми пучками. В результаті багатопроменевої інтерференції в фокальній площині  $L$  об'єктива  $O_2$  утворюється інтерференційна картина, що має форму концентричних кілець з різкими інтенсивними максимумами, положення яких залежить від довжини хвилі. Тому інтерферометр Фабрі - Перо розкладає складне випромінювання в спектр [5].

Застосовується інтерферометр Фабрі-Перо як інтерференційний спектральний прилад високої роздільної сили. Спеціальні скануючі інтерферометри Фабрі – Перо з фотоелектричної реєстрацією використовуються для дослідження спектрів у видимій, інфрачервоній і сантиметрової областях довжин хвиль. Різновидом інтерферометром Фабрі – Перо є оптичні резонатори лазерів, що випромінює середовище яких розташовується між дзеркалами [8].

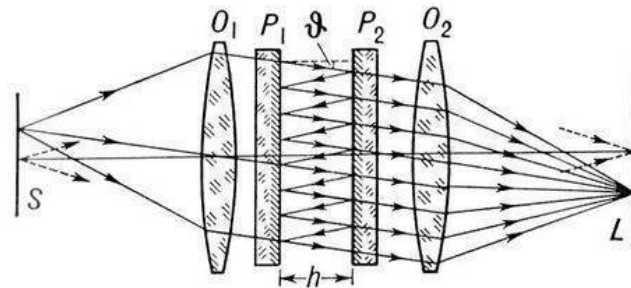


Рисунок 5 – Інтерферометр Фабрі-Перо

До багатопроменевих інтерферометра також відносяться різного роду дифракційні ґрати, які використовуються як інтерференційні спектральні прилади.

Інтерференція – одне з яскравих проявів хвильової природи світла. Це цікаве і красиве явище спостерігається при накладенні двох або декількох світлових пучків. Інтерферометри – дуже чутливі оптичні прилади, що дозволяють визначати незначні зміни показника заломлення прозорих тіл (газів, рідких і твердих тіл) в залежності від тиску, температури, домішок і т. д.

Застосування інтерферометрів дуже різноманітне. Крім перерахованого, вони застосовуються для вивчення якості виготовлення оптичних деталей, вимірювання кутів, дослідження швидкоплинних процесів, що відбуваються в повітрі, обтічні літальні апарати, і т. д. Застосовуючи інтерферометр, Майкельсон вперше провів порівняння міжнародного еталона метра з довжиною стандартної світлової хвилі.

## ЛІТЕРАТУРА

1. О.Ю. Повстяной, В.Д. Рудь, Ю.А. Мельник, Н.Ю. Імбірович // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. - 2014. - № 2. \ - С. 37-42. Коломійця Ю. В. Інтерферометри. Л., 1976;
2. Кожан В. П., Корній В. В., Русин Б. П. Реконструкція форми поверхні матеріалів за їх зображеннями // Вісник Нац. «Львівська політехніка». «Автоматика, вимірювання та керування». – 2005. – № 530. – С. 116–120.
3. Филипенко О. І. Технологічні фактори виробництва, що впливають на якість покриттів дзеркальних поверхонь МОЕМС-перемикачів / О. І. Филипенко, О. О. Чала, М. І. Відешин // Наукові нотатки. - 2017. - Вип. 57. - С. 178-183
4. Тимчик Г.С., Філіппова М.В., Маркін М.О. Технологія оптичного виробництва. Навч. пос. / Під заг. ред. Г. С. Тимчика – К.: НТУУ «КПІ», 2016. - 168 с. Корольов Ф. А., Спектроскопія високої роздільної сили, М., 1953;
5. Невлюдов И. Ш., Палагин В. А., Чалая Е. А. Технологии микросистемной техники (часть II) // Технология приборостроения. – 2015. – №. 2. – С. 5-10. Мікросистемна техніка та нанотехнології [Текст]: монографія/ І. Ш. Невлюдов, В. А. Палагін, / Київ НАУ, 2017.- 528 с.
6. Filipenko O. I., Chala O. O., Videshyn M. I. Технологічні дефекти виробництва кремнієвих підкладок для функціональних відбиваючих поверхонь МОЕМС-перемикачів // Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. – 2017. – Т. 2. – №. 42. – С. 61-63.
7. Чала О. О. Вплив параметрів технологічних операцій шліфування та полірування на формоутворення компонентів МОЕМС / О. О. Чала, О. І. Филипенко, І. В. Боцман // III-я Міжнародна конференція «Виробництво & Мехатронні Системи 2019», м. Харків, 24-25 жовтня 2019 р. – Х. : ХНУРЕ, 2019. – С. 69 – 72.
8. O. Filipenko, O. Chala, V. Bortnikova, O. Sychova and I. Botsman, "Impact of Technological Operations Parameters on Moems Components Formation," *2019 IEEE 8th International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers (CAOL)*, Sozopol, Bulgaria, 2019, pp. 371-374.
9. O. Filipenko, O. Chala, O. Sychova, "Some Issues of Dependencies of Loss from Technological Features of Optical Switches for Communication Systems", *2018 International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T)*, pp. 599-603, 2018.
10. W. Noell, S. Weber, J. Masson, J. Extermann, L. Bonacina, A. Bich, R. Bitterli, H. P. Herzig, D. Kiselev, T. Scharf, R. Voelkel, K.J. Weible, J.-P. Wolf, N.F. de Rooij, "Shaping light with MOEMS", *Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering Miniaturized Systems X*, vol. 7595, pp. 79300-00, 2011.
11. Y. Zhao, M. Chen, F. Xia, L. Cai, X. Li, "Small Curvature Sensor Based on Butterfly-Shaped Mach-Zehnder", *Interferometer. IEEE Trans Electron Devices*, vol. 64, no. 11, pp. 4644-4649, 2017.
12. I.S. Nevludov, S.P. Novoselov, A.G. Resnichenko, "Experimental verification of theoretical foundations making the basis of the substrate roughness surface automated control technology", *Telecommunications and Radio Engineering (English translation of Elektrosvyaz and Radiotekhnika)*, vol. 71, no. 19, pp. 1791-1799, 2012.

**Науковий керівник:** Чала Олена Олександрівна, асистент кафедри КІТАМ, Харківського національного університету радіоелектроніки