

**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLYI VA O‘RTA MAXSUS TA‘LIM VAZIRLIGI**

N. A. AKBAROVA, N. S. ATADJANOVA

**OPTIK TOLALI
KOMMUNIKATSIYALAR**

*O‘zbekiston Respublikasi Oliy va o‘rta maxsus ta‘lim vazirligi
tomonidan talabalar uchun ukuv kullanma sifatida tavsiya etilgan*

TOSHKENT–2023

UO‘K 535.8
KBK 22.34ya73
32.973.202-04
A 40

N. A. Akbarova, N. S. Atadjanova. Optik tolali kommunikatsiyalar. O‘quv qo‘llanma. – T.: «Fan va texnologiyalar nashriyot-matbaa uyi», 2023. 240 bet.

ISBN 978-9943-9074-8-5

O‘quv qo‘llanmada “60711700 – Lazer-yorug‘lik texnologiyalari va optoelektronika” ta’lim yo‘nalishi bo‘yicha tahsil olayotgan talabalar uchun “Optik tolali kommunikatsiyalar” fanidan ma’ruzalar to‘plami berilgan. Ma’ruzalar to‘plamida optik kommunikatsiyaga oid asosiy ma’lumotlar, ochiq optik kommunikatsiya va optik tolali kommunikatsiya, optik tolali kommunikatsiya tizimlarining tuzilish tamoyillari, yorug‘lik uzatgichlar, sud turlari, tavsif va parametrlari, optik tolali kommunikatsiya tizimlari, element tolali tizimlarining liniya trakti va liniya kodlari haqida tushunchalar berilgan.

Учебное пособие содержит блок лекций по теме «Волоконно-оптические коммуникации» для студентов, обучающихся по направлению образования «60711700 - Лазерно-световые технологии и оптоэлектроника». В наборе лекций представлены основные сведения об оптической коммутации, открытой оптической связи и волоконно-оптической коммуникации, принципах построения волоконно-оптических систем коммуникации, передатчиках света, типах кортов, описании и параметрах, волоконно-оптических системах коммуникации, линейных элементах волоконно-оптических систем. о трактах и линиях даны коды.

The textbook contains a block of lectures on the topic «Fiber-optic communications» for students studying in the direction of education «60711700 - Laser-light technologies and optoelectronics». The set of lectures provides basic information about optical switching, open optical communication and fiber optic communication, the principles of building fiber optic communication systems, light transmitters, types of courts, description and parameters, fiber optic communication systems, linear elements of fiber optic systems. about paths and lines codes are given.

UO‘K 535.8
KBK 22.34ya73
32.973.202-04

Taqrizchilar:

F. F. Radjabov – Toshkent axborot texnologiyalari universiteti dotsenti, PhD;
Yu. G. Shipulin – Toshkent davlat texnikasi universiteti professori, f.-m.f.d.

ISBN 978-9943-9074-8-5

© Toshkent davlat texnika universiteti, 2023
© «Fan va texnologiyalar nashriyot-matbaa uyi», 2023.

MUQADDIMA

So‘nggi yigirma yil ichida optik tolali sensor avvalgi bosqichdan amaliy qo‘llashgacha rivojlandi. Misol uchun, ushbu obyektlarning sog‘lig‘ini nazorat qilish uchun to‘g‘on va ko‘priklarga taqsimlangan optik tolali sensorlar o‘rnatiladi. Optik tarmoqlarning tez paydo bo‘lishi bilan, yorug‘lik manbalari va fotodetektorlar kabi optik tolali aloqaning tijorat uchun foydali asosiy komponentlari tufayli tolaning narxi optik sensorlar sonida sezilarli darajada kamaydi. Biz optik tolali sensorlar sensor texnologiyasida keng tarqalgan ilovalarga aylanishini kutamiz.

Hozirgi kunga kelib mamlakatimizda ham optik aloqa tizimlarining rivojlanishiga katta e‘tibor berilmoqda. Bu borada Fanlar akademiyasi ilmiy tadqiqot muassasalarida faoliyat olib borayotgan bir qator laboratoriya va bo‘limlar ishini keltirib o‘tish mumkin. Respublikamizdagi ilmiy muassasalarda olib borilayotgan ilmiy izlanishlarning keng ko‘lamda olib borilishiga qaramasdan, oliy ta‘lim muassasalarida tahsil olayotgan talaba yoshlarning bu boradagi bilim va ko‘nikmalari afsuski, qoniqarli darajada emas. Shu sababli yuqorida ta‘kidlab o‘tilgan kamchiliklarni qisman bo‘lsada bartaraf etish maqsadida hozirda oliy ta‘lim va Fanlar akademiyasi muassasalari o‘rtasida sezilarli darajada integratsiyalashuv jarayoni ketmoqda, bu esa o‘z navbatida amaliy natijalar bermoqda. Xususan, ushbu bitiruv malakaviy ishi mavzusi ham bevosita ilmiy asoslangan bo‘lib yoshlarga kelajakda ma‘lum bir fan sohalarini tanlab o‘z ilmiy faoliyatlarini davom ettirishlariga ko‘mak bera oladi deb o‘ylaymiz.

1-BOB. OPTIK NURTOLAGA KIRISH

1.1. Optik nurtola to‘g‘risida umumiy ma‘lumotlar

To‘la ichki qaytish. Optik nurtola to‘la ichki qaytish hodisasi asosida bo‘lganligi uchun avval to‘la ichki qaytish hodisasini ko‘ramiz. Yorug‘lik nurtola ichida tarqalar ekan uning chegarasiga tushadi va yana ichkariga to‘la qaytadi. Faraz qilaylik, nur sindirish ko‘rsatkichi n_1 va radiusi a bo‘lgan slindrik Rasmdagi muhitda tarqalayotgan bo‘lsin (1-rasm.). Tashqi muhit sindirish ko‘rsatkichini n_2 bilan belgilaymiz. U holda nur ikki muhit chegarasiga tushganda sinadi va qisman qaytadi. Bunga sinuslar yoki Snellius qonunini tadbiiq qilsak:

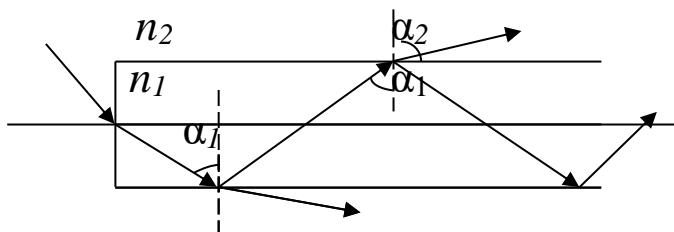
$$n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2, \quad (1.1)$$

$$\sin \alpha_1 = \frac{n_2}{n_1} \sin \alpha_2, \quad (1.2)$$

Agar biz tushish burchagi α_1 ni kattalashtirib borsak, sinish burchagi α_2 ham ortib boradi va ikkinchi muhitga singan nur chegaraga qarab egila boshlaydi. α_1 burchak ma‘lum kritik qiymatga yetganda $\alpha_2 \geq 90^\circ$ ga teng bo‘lib qoladi.

Bunda singan nur chegara bo‘ylab tarqaladi va ikkinchi muhitga o‘tmaydi, yoki nur sirtdan birinchi muhitga to‘la qaytadi. To‘la qaytish burchagi quyidagicha ifodalanadi:

$$\sin \alpha_{1T} = \frac{n_2}{n_1}, \quad (1.3)$$

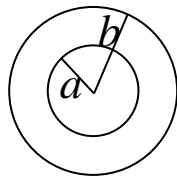


1.1-rasm. Nurtolada to‘la ichki qaytish hodisasi.

Demak, nurning nurtolada tarqalishining muhim sharti bu to‘la ichki qaytish hodisasidir, to‘la ichki qaytish esa, $n_2 < n_1$ ga asoslangan. $\alpha_1 \geq \alpha_{IT}$ bo‘lganda nurtola chegarasiga tushayotgan nur energiyasining deyarli hammasi yana nurtola ichiga qaytadi. Shunday ekan, nur nurtola chegarasiga $\alpha_{IT} \leq \alpha_1 \leq 90^\circ$ intervaldagi burchaklar ostida tushsa, to‘la qaytib nurtola orqali so‘nmasdan tarqaladi. Bu xildagi to‘lqinlarni *tarqaluvchi to‘lqinlar* deyiladi. Agar tushish burchagi $\alpha_1 \leq \alpha_{IT}$ bo‘lsa, ikkinchi muhitda singan nur hosil bo‘ladi. U nurtolaning bir necha metr masofasida tashqariga chiqib ketadi va foydali informatsiyani tashishda qatnasha olmaydi [3].

Nurtolalarning tuzilishi. Nurtola asosan ikki qatlamdan, a radiusli silindir Rasmdagi o‘zak va uni o‘rab olgan qobiqdan iborat. Qobiq ustiga tashqi muhit ta‘sirini yo‘qotish uchun muhofaza qatlami yotqiziladi (2-rasm.).

O‘zakning sindirish ko‘rsatkichi n_1 qobiqning sindirish ko‘rsatkichi n_2 dan biroz katta bo‘lib, ularning farqi taxminan $n_1 - n_2 \approx 0,01$ ga teng.



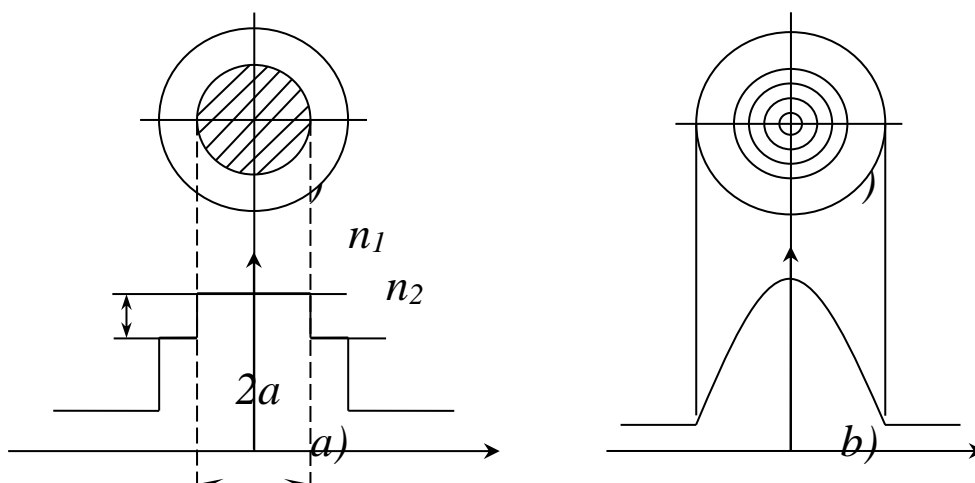
a)

n_2	qobiq
n_1	o‘zak
n_2	qobiq

b)

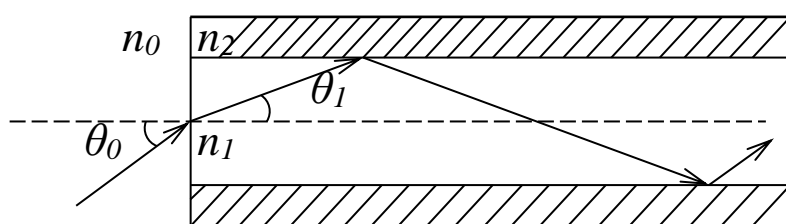
1.2-rasm. Nurtolaning a) ko‘ndalang va b) bo‘ylama kesimlari.

Agar o‘zakning sindirish ko‘rsatkichi n_1 nurtola markazidan o‘zak–qobiq chegarasigacha o‘zgaras va chegarada esa, qobiqning sindirish ko‘rsatkichi n_2 keskin ravishda o‘zgarib uning qiymati tashqi muhit chegarasigacha o‘zgaras bo‘lsa (3a-rasm.), bunday nurtolalar **pog‘onasimon nurtola (PN)** deb ataladi. Agar o‘zakning sindirish ko‘rsatkichi n_1 nurtola markazidan o‘zak–qobiq chegara-sigacha bir tekisda o‘zgarib kamaysa (3b-rasm.), **gradient nurtola (GN)** deyiladi. Bunday nurtolalarda nurning traektoriyasi egri chiziq bo‘lib, uning aniq qaytadigan chegarasi bo‘lmaydi. Qobiq tomonga yo‘nalgan nur sekin-asta nurtola o‘qiga qarab egila boradi [3].



1.3-rasm. a) Pog'onasimon (PN) va b) Gradientli (GN) nurtola.

Nurtolaning sonli aperturasi. Optik nurtolalarning eng muhim parametrlaridan biri bu uning sonli aperturasidir. Ushbu parametрни quyidagi chizmadan tushunib olish mumkin (4-rasm.) [5].



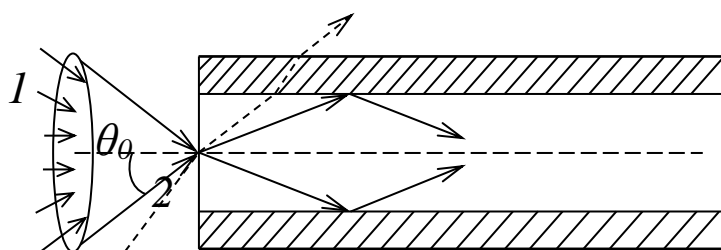
1.4-rasm. Nurtolaning sonli aperturasi.

Sinuslar qonuni bo'yicha $n_0 \sin \theta_0 = n_1 \sin \theta_1$. θ_0 burchak nisbatan kichik bo'lsa, θ_1 burchak ham kichik bo'ladi va nurtolaning ichidagi nur o'zak-qobiq chegarasidan to'la qaytadi. θ_0 ni oshirib borsak, θ_1 ham ortib boradi va uning qiymati $\cos \theta_{1kr} = \frac{n_2}{n_1}$ tenglamadan aniqlanuvchi θ_{1kr} burchak qiymatiga teng bo'lganda, to'la ichki qaytish hodisasi yuz bermay qoladi. Bunda tushish burchagi $\theta_0 = \theta_{0kr}$ bo'ladi va uning qiymati ushbu tenglamadan topiladi.

$$\sin \theta_{0kr} = \frac{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{n_0} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}, \quad (1.4)$$

$$NA = \sin \theta_{0kr} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = n_1 \sqrt{2\Delta}. \quad (1.5)$$

Kritik tushish burchagining sinusi $\sin\theta_{0kr}$ nurtolaning *sonli aperturasi* deb ataladi (bu ikki *N* va *A* harflar ingliz tilidagi “sonli apertura” iborasi tarjimasining “Numerical Aperture” bosh harflaridir *NA*). Bunda $\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2}$ sindirish ko‘rsatkichining normallashtgan ayirmasi. Yuqoridagi (1.5) ifodaning ma’nosini quyidagi chizmadan tushinib olsak bo‘ladi (5-rasm.) [3].



1.5-rasm. *Sonli apertura ma’nosiga oid.*

Agar tushuvchi nurlar *1* uchidagi burchak $\theta_0 = \theta_{0kr}$ bo‘lgan konus ichida yotsa, ular nurtola ichiga kirib chegarada to‘la ichki qaytadi va tarqaluvchi to‘lqinga aylanadi. Agar nurlar konusdan tashqarida yotsa ya’ni nur nurtola ichiga kirsam ham *2* o‘zak-qobiq chegarasida to‘la qayta olmaydi va asta-sekin bir necha marta qaytish va sinishdan so‘ng tashqariga chiqib ketadi. Qisqacha qilib aytganda, nurtola uning kirish yuzasiga $\theta \div \theta_{0kr}$ burchak ostida tushgan nurlarni qabul qila olar va ularni tarqaluvchi to‘lqinga aylantirib olar ekan. Tushish burchagi $\theta_0 > \theta_{0kr}$ bo‘lgan nurlar esa nurtola tashqarisiga chiqib ketadi.

Demak, biror bir lazer nurini linza yordamida nurtola ichiga maksimal darajada kiritmoqchi bo‘lsak, tanlab olgan linzamizning aperturasi nurtola aperturasidan kichik (yoki kritik burchaklarda teng) bo‘lishi kerak, aks holda nurning bir qismi baribir nurtoladan tashqariga chiqib ketadi.

1.2. Optik nurtolalarda moda tushunchasi

Nurtola modalarining to‘lqin nazariyasi va tolada tarqalish jarayoni kvant elektrodinamika qonunlariga va xususan, Maksvell tenglamalarining yechimiga asoslangandir. Bu tenglamalarni ma’lum chegaraviy va boshlang‘ich shartlar uchun yechib chiqsak, olingan yechimlar nurtolada tarqalishi mumkin bo‘lgan modalarni beradi.

Ma’lumki, elektr maydonining kuchlanganlik vektori \vec{E} va elektr induksiya vektori \vec{D} , magnit maydonining kuchlanganlik vektori \vec{H} va magnit induksiya vektori \vec{B} bilan quyidagi tenglamalar orqali bog‘langan:

$$\vec{D} = \varepsilon \vec{E}, \quad (1.6)$$

$$\vec{B} = \mu \vec{H}, \quad (1.6')$$

bu yerda ε – muhitning dielektrik singdiruvchanligi;

μ – muhitning magnit singdiruvchanligi.

Maksvell tenglamalarining differensial ko‘rinishi quyidagicha:

$$\nabla \times \vec{E} = -\mu \frac{\partial \vec{H}}{\partial t}, \quad (1.7)$$

$$\nabla \times \vec{H} = \varepsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}, \quad (1.7')$$

$$\nabla \cdot \vec{D} = 0, \quad (1.8)$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0, \quad (1.8')$$

Optik nurtolalarda erkin zaryadlar va tok yo‘nalishlari yo‘q. Shuning uchun $\rho=0$, $J=0$ (bunday muhitni vakuum deyish mumkin). Biroq, ushbu bog‘lanish tenglamalari noldan farqli yechimga egadir. Ya’ni, elektr va magnit maydoni mavjud. Bunday muhitda elektromagnit maydon mavjud bo‘lishi uchun, u vaqtga albatta bog‘liq bo‘lishi kerak.

Vektorlar algebrasi kursidan quyidagini bilgan holda,

$$\nabla \times (\nabla \times \vec{E}) = \nabla (\nabla \cdot \vec{E}) - \nabla^2 \vec{E} = -\nabla^2 \vec{E}$$

(1.7) va (1.7`) ga (1.6) va (1.6`) ni qo'yib, \vec{E} va \vec{H} uchun quyidagi tenglamani olamiz:

$$\nabla^2 \vec{E} - \mu\epsilon \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0, \quad (1.9)$$

$$\nabla^2 \vec{H} - \mu\epsilon \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2} = 0, \quad (1.9')$$

Ushbu olingan (1.9) va (1.9`) tenglamalar dielektrik muhitda harakatlanayotgan elektromagnit to'liqin tenglamasidir. ϵ va μ larni z – koordinataga bog'liq emas deb hisoblasak, u holda yuqoridagi tenglamalarning yechimi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$\vec{E} = \vec{E}_0(x, y) \cdot e^{i(\omega t - \beta z)}, \quad (1.10)$$

$$\vec{H} = \vec{H}_0(x, y) \cdot e^{i(\omega t - \beta z)}, \quad (1.10')$$

bu yerda β – to'liqin vektorining z o'qiga bo'lgan proeksiyasidir.

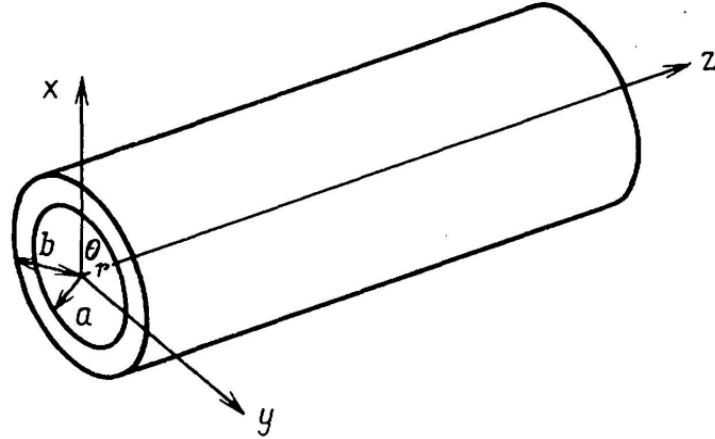
Maksvell tenglamalarida dekart koordinatalar sistemasi x, y, z dan silindrik koordinatalar sistemasi ρ, φ, z ga o'tamiz. U holda yechim quyidagi ko'rinishda qidiriladi:

$$\vec{E} = \vec{E}_0(\rho, \varphi) \cdot e^{i(\omega t - \beta z)}, \quad (1.11)$$

$$\vec{H} = \vec{H}_0(\rho, \varphi) \cdot e^{i(\omega t - \beta z)}, \quad (1.11')$$

Demak, silindrik koordinatalar sistemasida elektr va magnit maydonlarining uchtadan tashkil etuvchisi bor: E_ρ – maydonning

radiusga parallel tashkil etuvchisi, E_φ – radius ma’lum qiymatga ega bo’lgan nuqtada ρ ga perpendikulyar bo’lgan tashkil etuvchisi, E_z – elektr maydonining z o’qiga parallel bo’lgan tashkil etuvchisidir. Xuddi shuningdek, magnit maydoni uchun ham yozish mumkin.



1.6-rasm. Nurtola bilan bog’langan koordinatalar sistemasi.

Vektorlar algebrasi kursidan bizga ma’lumki, yangi koordinatalar sistemasida:

$$\nabla \times \vec{E} = \left(\frac{1}{\rho} \frac{\partial E_z}{\partial \varphi} - \frac{\partial E_\varphi}{\partial z} \right) \vec{e}_\rho + \left(\frac{\partial E_\rho}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial \rho} \right) \vec{e}_\varphi + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial(\rho E_\varphi)}{\partial \rho} - \frac{\partial E_\rho}{\partial \varphi} \right) \vec{e}_z$$

Bu qoidani bilgan holda, ma’lum matematik operatsiyalarni amalga oshirib, elektromagnit maydonning ko’ndalang tashkil etuvchilari E_ρ , E_φ va H_ρ , H_φ lar uchun E_z va H_z ga bog’lanish tenglamalarini olamiz:

$$E_\rho = -\frac{i}{\chi^2} \left(\beta \frac{\partial E_z}{\partial \rho} + \frac{\mu\omega}{\rho} \frac{\partial H_z}{\partial \varphi} \right), \quad (1.12)$$

$$E_\varphi = -\frac{i}{\chi^2} \left(\frac{\beta}{\rho} \frac{\partial E_z}{\partial \varphi} - \mu\omega \frac{\partial H_z}{\partial \rho} \right), \quad (1.12')$$

$$H_\rho = -\frac{i}{\chi^2} \left(\beta \frac{\partial H_z}{\partial \rho} - \frac{\omega\varepsilon}{\rho} \frac{\partial E_z}{\partial \varphi} \right), \quad (1.13)$$

$$H_{\varphi} = -\frac{i}{\chi^2} \left(\frac{\beta}{\rho} \frac{\partial H_z}{\partial \varphi} + \omega \varepsilon \frac{\partial E_z}{\partial \rho} \right), \quad (1.13')$$

bu yerda $\chi^2 = \omega^2 \mu \varepsilon - \beta^2 = k^2 - \beta^2 = \left(\frac{2\pi n}{\lambda} \right)^2 - \beta^2$. k – to‘lqinning sindirish ko‘rsatkichi n bo‘lgan muhitda tarqalish doimiysi (to‘lqin vektori).

Nurtoladagi elektromagnit to‘lqin tenglamalari (1.9) va (1.9') ni E_z uchun dekart va slindrik koordinatalari sistemasida yechib chiqsak:

Dekart koordinatalar sistemasida uchun,

$$\frac{\partial^2 E_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E_z}{\partial y^2} + \chi^2 E_z = 0, \quad (1.14)$$

Slindrik koordinatalar sistemasida uchun,

$$\frac{\partial^2 E_z}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial E_z}{\partial \rho} + \frac{1}{\rho^2} \frac{\partial^2 E_z}{\partial \varphi^2} + \chi^2 E_z = 0, \quad (1.15)$$

Bu tenglamalarning yechimini quyidagi ko‘rinishda qidiramiz:

$$E_z = AF(\rho)e^{i\nu\varphi}, \quad (1.16)$$

Bu yerda ν – butun son bo‘lib, uning fizik ma‘nosiga keyinroq to‘xtalib o‘tamiz. Tenglama (1.15) ga ifoda (1.16) ni qo‘ysak, $F(\rho)$ funksiyaga nisbatan ikkinchi darajali differensial tenglama olamiz:

$$\frac{\partial^2 F}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial F}{\partial \rho} + \left(\chi^2 - \frac{\nu^2}{\rho^2} \right) F = 0, \quad (1.17)$$

Matematik fizika tenglamalari kursidan ma‘lumki, (1.17) tenglama $F(\rho)$ funksiyaga nisbatan Bessel tenglamasi deyiladi.

Nurtola o‘zagi uchun tenglama (1.17) ning yechimi quyidagi ko‘rinishda:

(n_1), $\rho \leq a$ uchun,

$$F(\rho) = J_\nu(\chi\rho), \quad (1.18)$$

u holda,

$$E_z = AJ_\nu(\chi\rho)e^{i\nu\rho}, \quad (1.19)$$

bu yerda $\chi^2 = k_1^2 - \beta^2$; $k_1 = \frac{2\pi}{\lambda}n_1$. A – ixtiyoriy o‘zgarmas qiymat.

Demak, nurtolaning istalgan ko‘ndalang kesimi yuzasida elektr yoki magnit maydon kuchlanganligining z o‘qiga parallel bo‘lgan tashkil etuvchisining radius bo‘ylab o‘zgarishi Bessel funksiyasining xossalari bilan aniqlanar ekan.

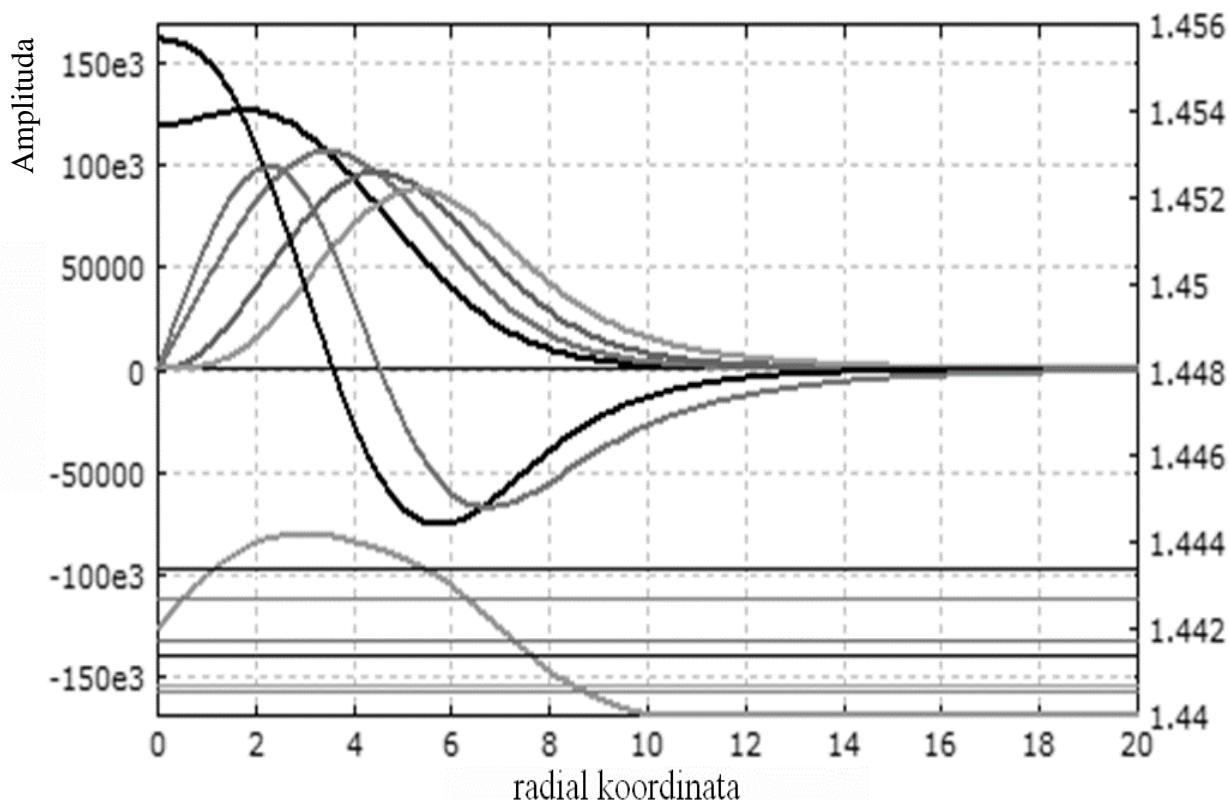
Bessel funksiyasi argumenti ortishi bilan uning amplitudasi (yoki maksimal qiymatlari) kamayib boradi. Shunday ekan, nurtola qobig‘idagi elektromagnit maydon ma’lum fizik talablarga javob berishi kerak. Eng asosiy talab, $\rho \rightarrow \infty$ bo‘lganda Bessel tenglamasining qobiq uchun yechimi so‘nib boruvchi funksiya bo‘lishi kerak. Bunday talabga modifikatsiyalangan Bessel funksiyasi javob bera oladi. Demak, nurtola qobig‘i uchun tenglama (1.17) ning yechimi quyidagicha:

(n_2), $\rho \geq a$ uchun,

$$F(\rho) = K_\nu(\omega\rho), \quad (1.20)$$

u holda,

$$E_z = BK_\nu(\omega\rho)e^{i\nu\rho}, \quad (1.21)$$



1.7-rasm. Bir modali optik nurtola modalarining Bessel funksiyasi ko‘rinishi.

bu yerda $\omega^2 = \beta^2 - k_2^2$; $k_2 = \frac{2\pi}{\lambda} n_2$. C – ixtiyoriy o‘zgar-
mas qiymat. Shuningdek, yuqoridagi mulohazalarni H_z uchun ham
umumlashtirish mumkin.

Bessel funksiyasidan shu ma’lumki, $\chi \geq 0$ haqiqiy qiymat uchun
 $\beta \leq k_1$ bo‘lishi kerak. Bundan tashqari, modifikatsiyalangan Bessel
funksiyasidan $\omega \rho \rightarrow \infty$ bo‘lganda, $K_\nu(\omega \rho) \rightarrow e^{-\omega \rho}$ bo‘ladi. $\omega \geq 0$ yoki
 $\beta \geq k_2$ shart bajarilsagina qobiqdagi maydon nurtola markazidan radius
bo‘ylab uzoqlashgan sari so‘nib boradi, ya’ni, nurtola ichidagi
elektromagnit to‘lqin tashqariga chiqmasdan tarqaladi. Bu – *tarqalish*
modidir. Agar $K_\nu(\omega \rho) \rightarrow const$ yoki $e^{|\omega \rho|}$ bo‘lsa, $\beta \leq k_2$ va $\omega \leq 0$ bo‘ladi.
Buning fizik ma’nosi shuki, qobiqdagi maydon nurtola markazidan
uzoqlashgan sari so‘nmaydi. Bunday mod o‘zakdagi elektromagnit
maydon energiyasi asta-sekin qobiq orqali tashqariga nurlanib chiqib
ketishidir. Xulosa qilib aytganda, $k_2 \leq \beta \leq k_1$ shart bajarilashi lozimdir.

Agar $F(\rho)$ funksiya topilsa, E_z, H_z larni, bundan $\rho \leq a$ va $\rho \geq a$ hollar uchun $E_\rho, E_\varphi, H_\rho, H_\varphi$ larni topish mumkin. O‘zak-qobiq chegarasida elektr va magnit maydon kuchlanganligining tangensial komponentalari uzluksiz bo‘lishi kerak:

$${}^1 E_{(\rho, \varphi) \tan g} \Big|_{\rho=a} = {}^2 E_{(\rho, \varphi) \tan g} \Big|_{\rho=a}, \quad (1.22)$$

$${}^1 H_{(\rho, \varphi) \tan g} \Big|_{\rho=a} = {}^2 H_{(\rho, \varphi) \tan g} \Big|_{\rho=a}, \quad (1.22')$$

Bu shart noma'lum A, B, C va D lar qatnashadigan to‘rtta tenglamalar sistemasini beradi. Bu tenglamalarning nolga teng bo‘lmagan yechimlari sistemaning determinanti nolga teng bo‘lganda mavjud bo‘ladi. Bu determinant ustida algebraik operatsiyalarni amalgam oshirib, β ning qiymatlari aniqlanadigan tenglamaga kelamiz. Bu tenglamaning yechimlari β ning diskret qiymatlarini beradi. Bu qiymatlarning har biriga nurtolada tarqalayotgan va uning ko‘ndalang kesimida elektromagnit intensivligining o‘ziga xos taqsimotiga ega bo‘lgan to‘lqin turi yoki **modasi** to‘g‘ri keladi.

Endi modalarning xossalarini chuqurroq qarab chiqamiz. Bessel funksiyasidagi ν , maydon nurtolaning ko‘ndalang kesimi yuzasida davriy o‘zgarishligi uchun, \pm butun son bo‘lishi kerak edi. Biz $\nu=0$ bo‘lgan holni olamiz. Bu holda nurtolada ikki xil modalar tarqalishi mumkin ekan; ko‘ndalang — magnit (TM) modalar ($H_z=0$) va ko‘ndalang — elektr (TE) modalar ($E_z=0$). $\nu=0$ bo‘lgani uchun bu modalar maydonning o‘zak ko‘ndalang kesimidagi taqsimoti burchakka bog‘liq bo‘lmaydi. Lekin, bilamizki, maydonning radius bo‘yicha o‘zgarishini Bessel funksiyasi $J_\nu(\chi\rho)$ ifodalaydi. Bu funksiya (16-rasm.) da ko‘rsatilganidek, $\chi\rho$ ning ma'lum qiymatlarida m marta nolga teng bo‘ladi ($\beta_{vm} \geq k_2$ sharti bajarilguncha). $\nu=0$ bo‘lganda bu modalarni TE_{0m} yoki TM_{0m} – modalar deb ataladi.

Agar $\nu \neq 0$ bo‘lsa, masala yanada murakkablashadi. Bunday holdagi modalar *gibrid modalar* deb ataladi va ular HE_{vm} va EH_{vm} deb belgilanadi. Nurtolada qandaydir bitta gibrid moda tarqalyapti deb faraz qilaylik. Bulara maydonning E_z va H_z tashkil etuvchilari nolga teng emas, E_z va H_z ga nisbatan kattaroq bo‘lsa EH_{vm} , aks holda, HE_{vm}

deb belgilanadi. Berilgan $v \neq 0$ uchun Bessel funksiyasi $J_v(\chi\rho)$ m ta ildizga ega bo'laveradi. Demak, modalar to'rt xilda bo'ladi. Ya'ni: TE_{vm} , TM_{vm} , EH_{vm} va HE_{vm} . [5] [6] [9]

Yuqorida keltirilgan χ va ω o'zaro juda muhim bir munosabatni beradi:

$$V^2 = (\chi^2 + \omega^2)a^2 = \left(\frac{2\pi a}{\lambda}\right)^2 (n_1^2 - n_2^2), \quad (1.23)$$

$$V = \frac{2\pi a}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2}, \quad (1.23')$$

Topilgan V parametr nurtolaning *xarakteristik chastotasi* (parametri) deb ataladi va u ko'p foydali informatsiyalarga egadir. Nazaryotchi olimlar, tarqalish doimiysi β nurtolaning xarakteristik parametri V bilan murakkab bog'lanishini pog'onasimon nurtolalar uchun grafik usulda hisoblashdi. Agar nurtolada biror monoxromatik to'lqin (lazer nuri) tarqalayotgan bo'lsa, V parametr ma'lum qiymatga ega bo'ladi. V ning bu qiymatiga munosib N ta moda vujudga keladi. Har bir moda qutblangan (polarizatsiyalangan) elektromagnit to'lqinidir. Modalarning umumiy soni N , V orqali quyidagicha aniqlanadi ($V \gg 1$ bo'lganda):

$$N \approx \frac{V^2}{2}, \quad (1.24)$$

Modalar sonini aniqlash bo'yicha aniq bir misol ko'rib o'tsak: nurtola o'zagining radiusi $a=30$ mkm, sindirish ko'rsatkichlari farqi $n_1-n_2=0,01$ ($n_1=1,46$, $n_2=1,45$) va unda Nd : YAG lazerining nuri ($\lambda=1,064$ mkm) tarqalayotga bo'lsin. U holda, (1.23) va (1.24) formulalar asosida hisoblaymiz:

$$V = \frac{2\pi a}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 30}{1,064} \cdot \sqrt{1,46^2 - 1,45^2} \cong 30$$

Demak, bunday nurtolada tarqalayotgan modalar soni

$$N \approx \frac{V^2}{2} = \frac{30^2}{2} = 450 \text{ ta bo'ladi.}$$

Modalar sonini kamaytirish uchun V parametrning son qiymatini kamaytirish kerak. Bir modali mod hosil qilish uchun nurtola o'zagining diametri bir necha λ ga teng bo'lishi va $n_1 - n_2$ ayirmasi mumkin qadar kichik bo'lishi kerak. V ning qiymati taxminan 2,405 dan kichik bo'la boshlaganda, nurtoladan faqat bitta moda tarqala boshlaydi. Bu moda V ning istalgan qiymatida mavjuddir va u asosiy moda deb ataladi. Boshqa modalarning har biri uchun V ning shunday qiymatlari mavjudki, V ana shu qiymatga erishganda, tegishli moda tarqalishi to'xtaydi. Shuning uchun V ning bunday qiymati «ajratish chastotasi» deb ataladi. Katta to'lqin uzunligi λ_1 uchun bir modali bo'lgan nurtola kichik to'lqin uzunligi λ_2 uchun ko'p modali bo'lishi mumkin.

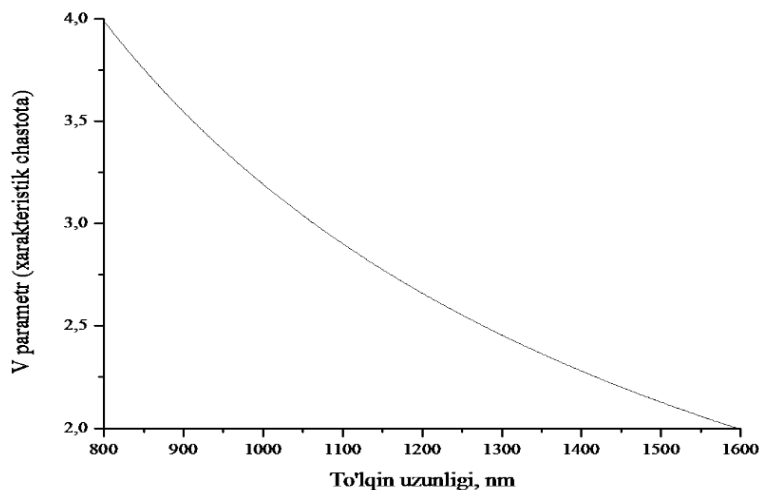
Nurtolada tarqalayotgan har qanday moda maydonining bir qismi o'zakda va bir qismi qobiqda ham tarqaladi. Berilgan moda energiyasining qancha qismi o'zakda va qancha qismi qobiqda tarqalishini quyidagi taxminiy formula bilan baholash mumkin.

$$\frac{P_q}{P_0} \approx \left[\frac{a}{V} \right]^4 \left| 1 - \frac{2}{V} \right|. \quad (1.25)$$

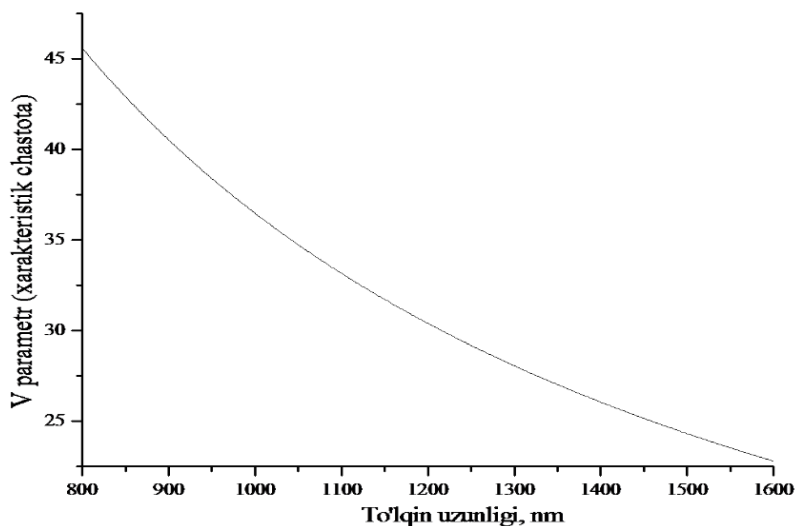
bu yerda P_q – modaning qobiqdagi quvvati;
 P_0 – umumiy quvvat.

Demak, V ortishi bilan moda quvvatining qobiqdagi qismi kamayib boradi [3].

Optik nurtolalarning xarakteristik chastotasi V ni bilgan holda, uning nurtolaga kiruvchi nur to'lqin uzunligiga bog'lashimiz mumkin. Buning uchun (1.23) formuladan foydalangan holda V parameter bilan to'lqin uzunlik orasidagi bog'liqlik grafigi ko'rinishi quyidagi (8-rasm) da keltirilgan.



(A) *Bir modali nurtola uchun.*



(B) *Ko'p modali nurtola uchun.*

1.8-rasm. *Optik nurtolaning xarakteristik chastotasini to'lg'in uzunlikga bog'liqlik grafiqi.*

1.3. Optik nurtolarning klassifikatsiyasi va ularning parametrlarini solishtirish

Optik nurtolar ikki parametr bo'yicha klassifikatsiya qilinadi. Birinchisi nurtola tayyorlangan materialiga qarab:

1. Shisha o'zakli shisha qobiqli nurtolalar. Bunday turdagi optik nurtolar o'ta yuqori darajada tozalangan kremniy dioksidi

yoki tabiiy toza kvardsdan (SiO_2) tayyorlanadi. Tayyorlash texnologiyasi va xom ashyo iqtisodiy jihatdan qimmatga tushgani bilan bu turdagi nurtolalarni parametrlarini boshqarish mumkinligi va maksimal xarakteristikalarini bilan ajralib turadi. Kerakli sindirish ko'rsatkichini olish uchun kremniy dioksidiga turli aralashmalar qo'shiladi. Misol uchun germaniy yoki fosfor sindirish ko'rsatkichini oshirsa, bor va fluor uni kamaytiradi. Bu turdagi nurtolalar ilmiy izlanishlarda, maxsus qurilmalar ichida, noxiziqli effektlar olishda ko'proq qo'llaniladi.

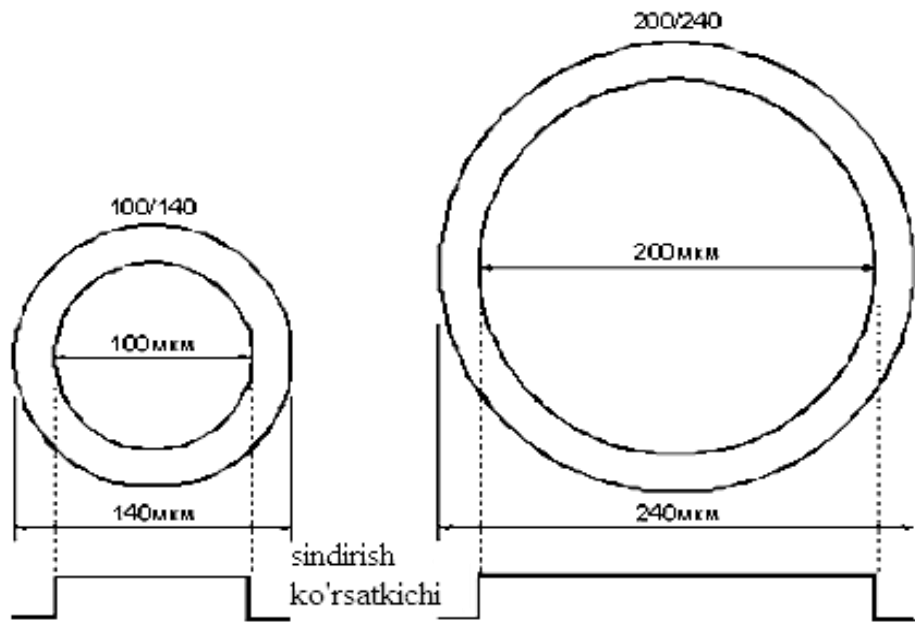
2. Shisha o'zakli plastik qobiqli nurtolalar. Bu turdagi nurtolalar 1 turdagichalik parametrlarni to'liq boshqarish imkoniyatiga ega bo'lmasa ham, so'nish koeffitsiyenti, dispersiya va boshqa asosiy parametrlari bilan ularga yaqin. Bu turdagi nurtolalar standart nurtolalar bo'lib, ular egilishi va mexanik ta'sirlarga nisbatan chidamliligi uchun optik aloqa sistemalarida qo'llaniladi.

3. Plastik o'zakli plastik qobiqli nurtolalar. Bu turdagi nurtolalar mexanik va tashqi ta'sirlarga chidamli bo'lganligi uchun tibbiyotda va ekstremal sharoitlarda qo'llaniladi. Bu nurtolalarni so'nish koeffitsiyenti va o'tkazish polosasi jihatdan yuqoridagi nurtolalardan sifati juda past. Lekin arzonligi va tayyorlash osonligi ularni oddiy uskunalarda (kichik quvvatli nurlarda) qo'llash imkonini beradi.

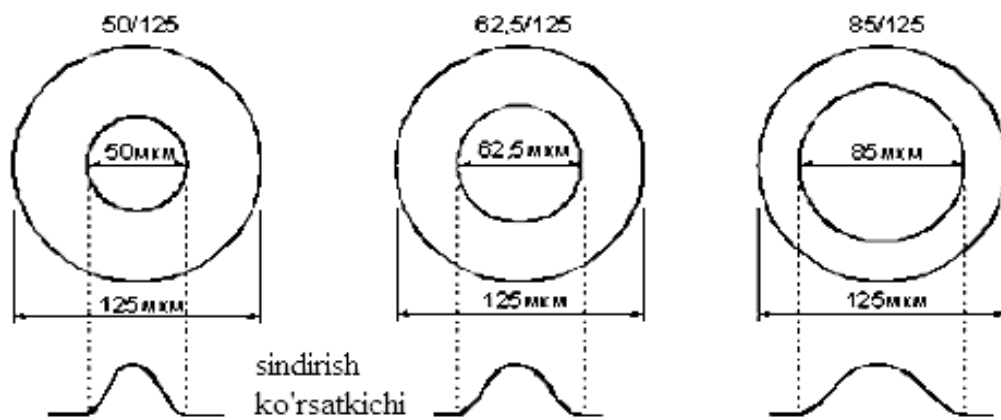
Nurtolalarni klassifikatsiya qilishning ikkichi tamoyili ularning o'zak va qobiqning sindirish ko'rsatkichi, o'lchamlari va yorug'likning moda strukturasi asoslanganligidadir.

Moda elektromagnit to'lqinlarning muhitda tarqalishining matematik va fizik tushunchalarini jamlovchi termin. Bizning misolda nurtolada ma'lum to'lqin uzunlikdagi tarqalishi mumkin bo'lgan 1 dan 100000 gacha oraliqda yotuvchi yorug'lik traektoriyalarini tushunish mumkin.

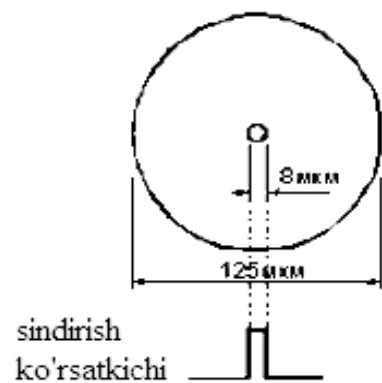
Tarqaluvchi modalar soniga qarab nurtolalar bir modali (single mode fiber) va ko'p modali (multi mode fiber) nurtolalarga ajratiladi. 9 va 10-rasmlarda nurtolalarning modalar bo'yicha klassifikatsiyasi va ularda nurning tarqalishi ko'rsatilgan.



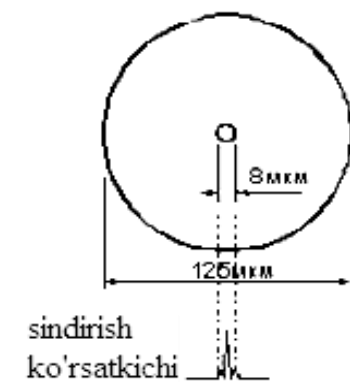
a) Pog'onasimon ko'p modali nurtola



b) Gradient ko'p modali nurtola



d) Bir modali nurtola



e) Bir modali dispersiyasi surilgan nurtola

1.9-rasm. *Optik nurtolalarning modasi, o'lchamlari va sindirish ko'rsatkichi profiliga qarab klassifikatsiyasi.*

Bundan tashqari nurtolalar sindirish ko'rsatkichi profiliga qarab ham ajratiladi. Bular quyidagilar: pog'onasimon, Gauss gradient, gradient va dispersiyasi surilgan nurtolalar.

Ko'p modali nurtola, pog'onasimon nurtola. Ushbu tur nurtolalar nisbatan sodda nurtolalardir. Ko'p modali nurtolalarning yadro diametri 100 mkm dan 900 mkm gacha bo'ladi. U toza shishali, aralash yoki plastik materialli bo'lishi mumkin. Kichik o'tkazish polosasi va minimal so'nish koeffitsiyetini ta'minlab bermasa ham bu turdagi nurtolalar eng ko'p tarqalgan.

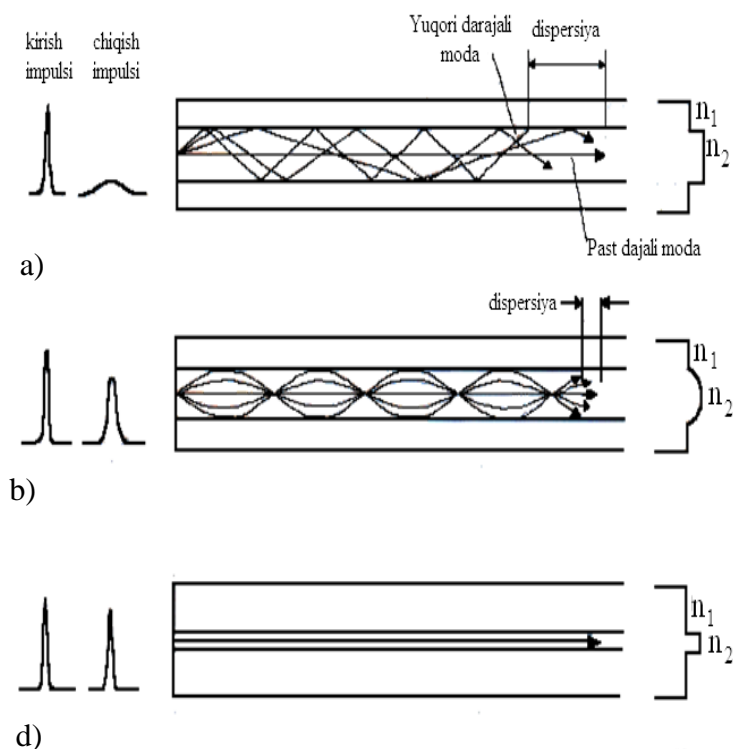
Bu turdagi nurtolalarda turli burchak ostida tushgan nurlar turli traektoriyalar (moda) bilan harakatlanadi va shu bilan mos ravishda ularning bosib o'tgan yo'llari ham farqlanadi. Shu tufayli bir uzunlikdagi nurtola ichida turli nurlar uni bosib o'tishi uchun turlicha vaqt kerak bo'ladi. O'zakning markaziy o'qi bo'ylab yo'nalgan qaytishlarsiz tarqalgan nur boshqa nurlarga nisbatan eng oldin etib keladi (10a-rasm.). Boshqa modalar ham tushish burchagiga qarab nurtolani turlicha vaqtlarda bosib o'tadi. Natijada nurtolaga kiritilgan impuls uning oxirida yoyilib ketadi. Bu hodisa modali dispersiya deyiladi.

Ko'p modali nurtolalarda modali dispersiyaning tipik qiymati 15–30 ns/km ni tashkil etadi. Bu degani nurtolaga bir vaqtda kirgan nurlar 1 km ga 15–30 ns farqi bilan etib keladi. Bu optik aloqa sistemalari uchun juda katta farq. Aynan modali dispersiya nurtolaning o'tkazish polosasi kengligini belgilab beradi.

Gauss gradientli nurtolalar. Modali dispersiyani bartaraf etishning bir turi gradientli optik nurtolalardan foydalanishdir. Bu turdagi optik nurtolalarda uning o'zagi xuddi daraxtning yillik aylanalariga o'xshash ko'p sondagi konsentrik aylanalardan iborat bo'ladi. Asosiy markaziy o'qdan nurtola chetiga qarab sindirish ko'rsatkichi gradient tarzda kamayib boradi.

Ma'lumki, yorug'lik nuri sindirish ko'rsatkichi kichik bo'lgan muhitda kattaroq tezlik bilan harakatlanadi. Shunday qilib, yorug'lik traektoriyasi markaziy o'qdan qancha chetlashsa shuncha tezroq harakat qiladi. Pog'onasimon sindirish ko'rsatkichi profiliga ega nurtolalardan farqli ravishda nur keskin sinmasdan balki, har bir qatlamda oz-ozdan silliq ravishda sinib boradi va nur sinusoidaga

o‘xshash traektoriya bo‘ylab harakatlanadi (10b-rasm.). Gradiyent sindirish ko‘rsatkich profili nurlolalarda modali dispersiya 0,1–1 ns/km ni tashkil etadi. Bu ko‘p modali pog‘onasimon nurlolalardan 15–150 barobar kamdir.



1.10-rasm. *Optik nurlolalarning: a) pog‘onasimon, b) Gauss gradiyentli, d) bir modali dispersiyasi bo‘yicha klassifikatsiyasi.*

Bu turdagi nurlolalarning eng ko‘p tarqalganlari o‘zak radiusi 50, 62,5 va 85 mkm, qobiq radiusi 125 mikronni tashkil etadi.

Gradiyent nurlolalar o‘tkazish polosasi kengligi sababli kabel televizion aloqa kanallari, kichik mintaqaviy aloqa tarmoqlarida keng qo‘llaniladi.

Bir modali nurlola. Modali dispersiyani kamaytirishni yana bir turi bu o‘zak diametrini u faqat bitta modani o‘tkaza oladigan darajagacha kichraytirishdir (10d-rasm.). Bu nurlolalar faqat bitta moda yorug‘lik nurini o‘tkazganligi sababli ularda modali dispersiya umuman mavjud emas (yoki juda ham kichik). Bu esa aloqa uzatishda ularni o‘tkazish polosasi kengligini 50–150 GGs darajagacha kattalashtirish imkonini beradi. Bugungi kundagi bir modali optik

nurtolalar juda kichik 2–12,5 mkm diametrli o‘zakka ega va ular uchun quyidagi standart qoidalar mavjud:

- bir modali optik nurtola qobig‘i uning yadrosidan 10 marta katta bo‘lishi kerak. Ya’ni yadro diametr 12,5 mkm bo‘lgan nurtolaning qobig‘i diametri 125 mkm bo‘lishi kerak. Bu nurtola standart SMF – 28 nurtoladir;

- bu qoida pog‘onasimon sindirish ko‘rsatkichli nurtolalar bilan bir qatorda barcha nurtolalar uchun standartdir;

- ushbu standart nurtolalarning montaj ishlari uchun ham eng qulay darajadir. Ya’ni bu tipdagi nurtolalar boshqa nisbatdagi nurtolalarga nisbatan mexanik ta’sirlarga chidamliroqdir.

Bir modali optik nurtolalarda yorug‘likning tarqalishi ko‘p modali nurtolalarga nisbatan ancha murakkabdir. Bu yerda yorug‘likning geometrik qoidalarini qo‘llab bo‘lmaydi. Chunki, yorug‘lik elektromagnit to‘lqin va shu bilan bir qatorda fotonlar oqimidir. Bir modali nurtolalarda yadro diametri yorug‘lik to‘lqin uzunligi darajasida bo‘ladi. Har qanday yorug‘lik oqimini ham minimal kichik diametri mavjud (misol uchun Gauss dastasi). Shu sababli bir modali nurtolalarda yorug‘lik elektromagnit maydoni uning yadrosidan tashqarida ham tarqaladi. Shuning uchun bir modali nurtolalarda yadro diametridan yorug‘likning effektiv yuzasi ko‘proq rol o‘ynaydi [2] [4] [7].

Quyida misol tariqasida SMF–28 bir modali optik nurtolaning xarakteristikallari berilgan.

1.1 - jadval.

Ishchi to‘lqin uzunligi, <i>nm</i>		1310; 1550; 1625
Qobiq diametri, <i>mkm</i>		125±1
Qobiq notekisligi, %		1
Himoya qobig‘i diametri, <i>mkm</i>		250±15
So‘nish koeffitsiyenti, <i>dB/km</i> :		
1.	1310 <i>nm</i>	0,35
2.	1550 <i>nm</i>	0,175
3.	1625 <i>nm</i>	0,21
To‘lqin uzunlikka mos xromatik dispersiya koeffitsiyenti, <i>ps/(nm·km)</i> :		

1.	(1285÷1330) <i>nm</i>	3,5
2.	(1525÷1575) <i>nm</i>	18
3.	(1565÷1625) <i>nm</i>	22
Nolinchi dispersiya to‘lqin uzunligi, <i>nm</i>		1310±10
Moda maydoni diametr, <i>mkm</i> :		
1.	1310 <i>nm</i> ,	9,2±0,5
2.	1550 <i>nm</i> ,	10,7±0,5

2-BOB. OPTIK NURTOLA XARAKTERISTIKALARINI AMALIY O‘RGANISH

2.1. Nurtolalarning effektiv sindirish ko‘rsatkichi xarakteristikasi

Ma’lumki, muhitning sindirish ko‘rsatkichi unga tushayotgan yorug‘lik nurining to‘lqin uzunligiga bog‘liq ravishda o‘zgaradi. Optik nurtolaning asosiy parametrlaridan biri effektiv sindirish ko‘rsatkichi va guruh to‘lqinlari uchun sindirish ko‘rsatkichidir. Ular bir-biridan farq qiladi.

Texnologik jihatdan nurtola parametrlari ma’lum to‘lqin uzunlik uchun optimal qilib, ishlab chiqariladi. Bu esa nurtolaning boshqa to‘lqin uzunliklarda foydalanish imkoniyatlarini qayta ko‘rib chiqishni talab etadi. Ya’ni, nurtolaning ishchi to‘lqin uzunligi aytaylik, 1552 nm yoki 1310 nm bo‘lsin. Biz bu nurtoladan geliy – neon (He-Ne) lazeri nurlanishi 632 nm to‘lqin uzunlikni biror masofaga uzatishimiz kerak. Bunda nurtolaning pasport xarakteristikalarini o‘rinli bo‘lmaydi va turli texnik noqulayliklarni oldini olish uchun nurtola parametrlarini qayta o‘lchash va nazariy hisoblash zarur.

Optik nurtolaning effektiv sindirish ko‘rsatkichini o‘lchash metodlarining bir necha usuli bor: yaqin zona metodi, interferensiyon metod, fokuslash metodi, qaytish koeffitsiyentini o‘lchash metodi.

Yaqin zona metodi. Nazariya shuni ko‘rsatadiki, agar nurtolaga kiritilgan energiya hamma modalar orasida teng taqsimlansa, u holda nurtolaning ko‘ndalang kesimidagi yorug‘lik intensivligining taqsimoti (yoki radiusga bog‘liqligi) sindirish ko‘rsatkichining radius bo‘ylab o‘zgarish qonunini qaytarar ekan. Buni analitik ravishda quyidagicha yozish mumkin:

$$I(r) = I(0) \frac{n_1^2(r) - n_2^2(a)}{n_1^2(0) - n_2^2(a)}, \quad (2.1)$$

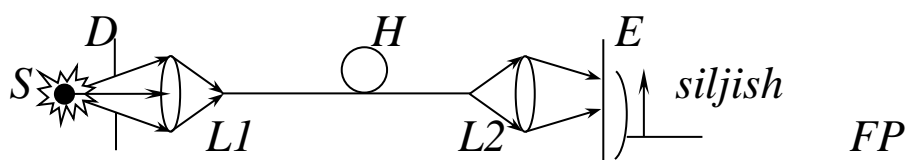
bu yerda $I(r)$ va $n(r)$ – o‘zakning markazidan r masofada joylashgan nuqtadagi yorug‘lik intensivligi va sindirish ko‘rsatkichi;

$I(0)$ – o‘zakning markazidagi yorug‘lik intensivligi;

$n_1(0)$ – o‘zak markazining sindirish ko‘rsatkichi;

$n_2(a)$ – qobiqning $r=a$ nuqtasidagi sindirish ko‘rsatkichi.

Bu metodning qo‘llanilishni asosiy sharti – nurtolda hamma tarqalish modalarining vujudga kelishidir. Lekin, nurtolaga nur kiritilganda, chiqib ketuvchi modalar ham vujudga keladi va ma‘lum masofagacha qobiqda tarqaladi. Bu o‘lchash natijalariga ta‘sir qilmasligi uchun nurtolaning uzunligi 100 m dan kam bo‘lmasligi kerak. Yaqin zona metodi bilan effektiv sindirish ko‘rsatkichi profilini aniqlashning tadqiqot sxemasi (11-rasm.) da keltirilgan.



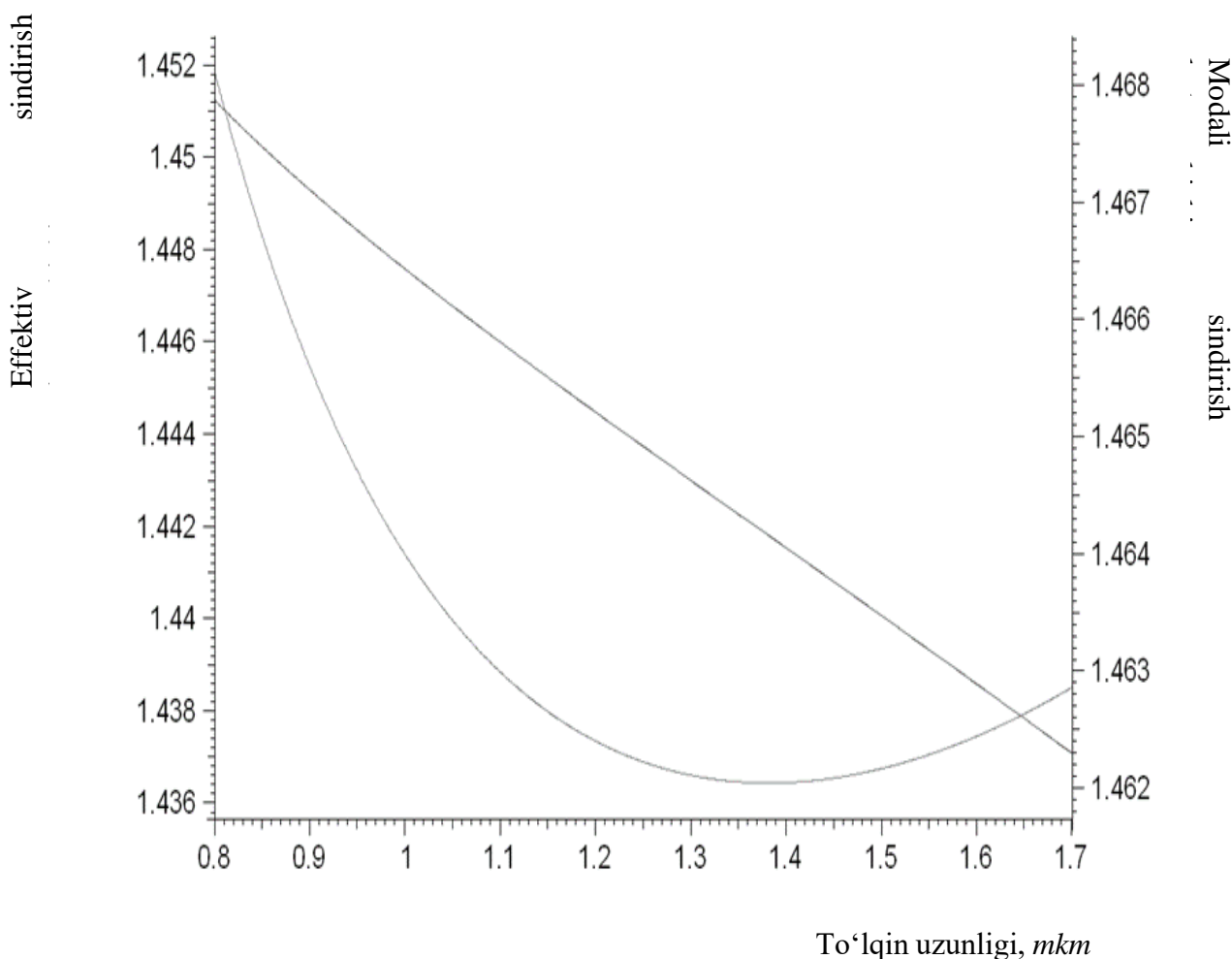
2.1-rasm. Yaqin zona metodi yordamida (SKP) ni o‘lchash sxemasi.

L_1 mikroobyektiv yordamida kirish ko‘ndalang kesimi yoritiladi, L_2 mikroobyektiv yordamida esa chiqish ko‘ndalang kesimining kattalashgan tasviri E ekranga tushiriladi. FP fotopriyomnikni shu E ekranda siljitsa, $I(r)$ ni o‘lchab olish mumkin. (2.1) formuladan ko‘rinib turibdiki, $I(r) \sim n_1(r) - n_2(a)$. Demak, yorug‘lik intensivligining taqsimoti o‘lchab olinsa, sindirish ko‘rsatkichining profili aniqlangan bo‘ladi. Effektiv sindirish ko‘rsatkichi aniqlab olingandan so‘ng ekran o‘rniga spektrofotometr qo‘yiladi va har bir to‘lqin uzunligiga mos koordinata va intensivlik qayd qilinadi, olingan natijalar qayta ishlangandan so‘ng 2.2 va 2.3-rasmlarda tasvirlangan grafiklar hosil bo‘ladi [8].

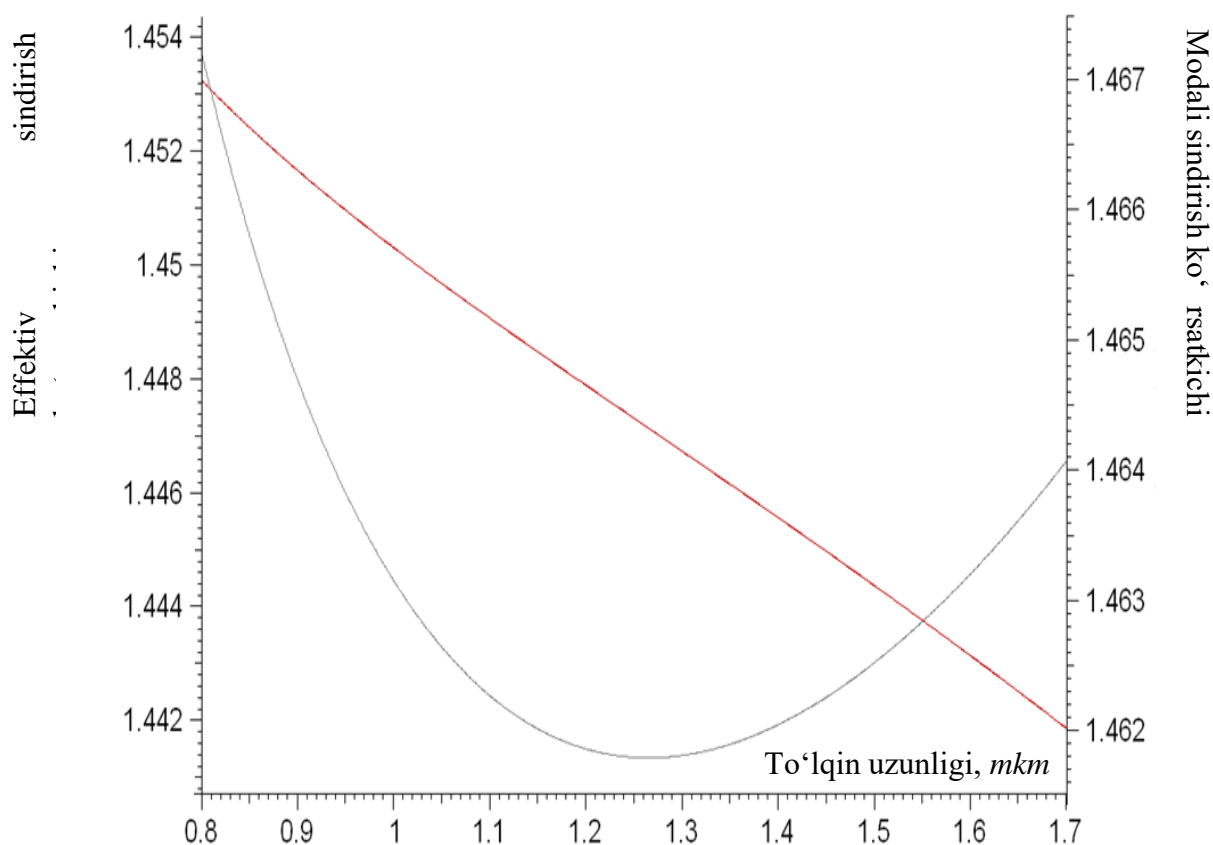
Yuqoridagi grafiklardan ko‘rinib turibdiki, effektiv sindirish ko‘rsatkichi bir va ko‘p modali nurtolalarda to‘lqin uzunligi ortib borishi bilan chiziqli kamayib boradi. Uning o‘zgarishi har ikki tipdagi nurtola uchun ham deyarli bir xildir. Chunki, bu ko‘rsatkich toza shisha materialining ko‘rsatkichidir. Lekin, guruh sindirish ko‘rsatkichi har ikkala holda ham silliq funksional ravishda nolunchi

dispersiya to‘lqin uzunligiga qarab kamayib boradi va nolinci dispersiyadan keyin funksional ortadi. Ko‘p modali nurtolalarda bir modaliga nisbatan modali dispersiya mavjudligi uchun nolinci dispersiyadan so‘ng tezroq ortib boradi.

Yuqoridagi eksperimental qurilma yordamida nurtolalarning yana bir asosiy parametrlari quvvat va elektromagnit maydon kuchlanganligining nurtolaning ko‘ndalang kesmasi bo‘yicha taqsimoti va optik nurtolaning uzoq va yaqin maydon ta’sir diametrlari, effektiv tarqalish yuzasi kabi parametrlarini ham aniqlash mumkin.

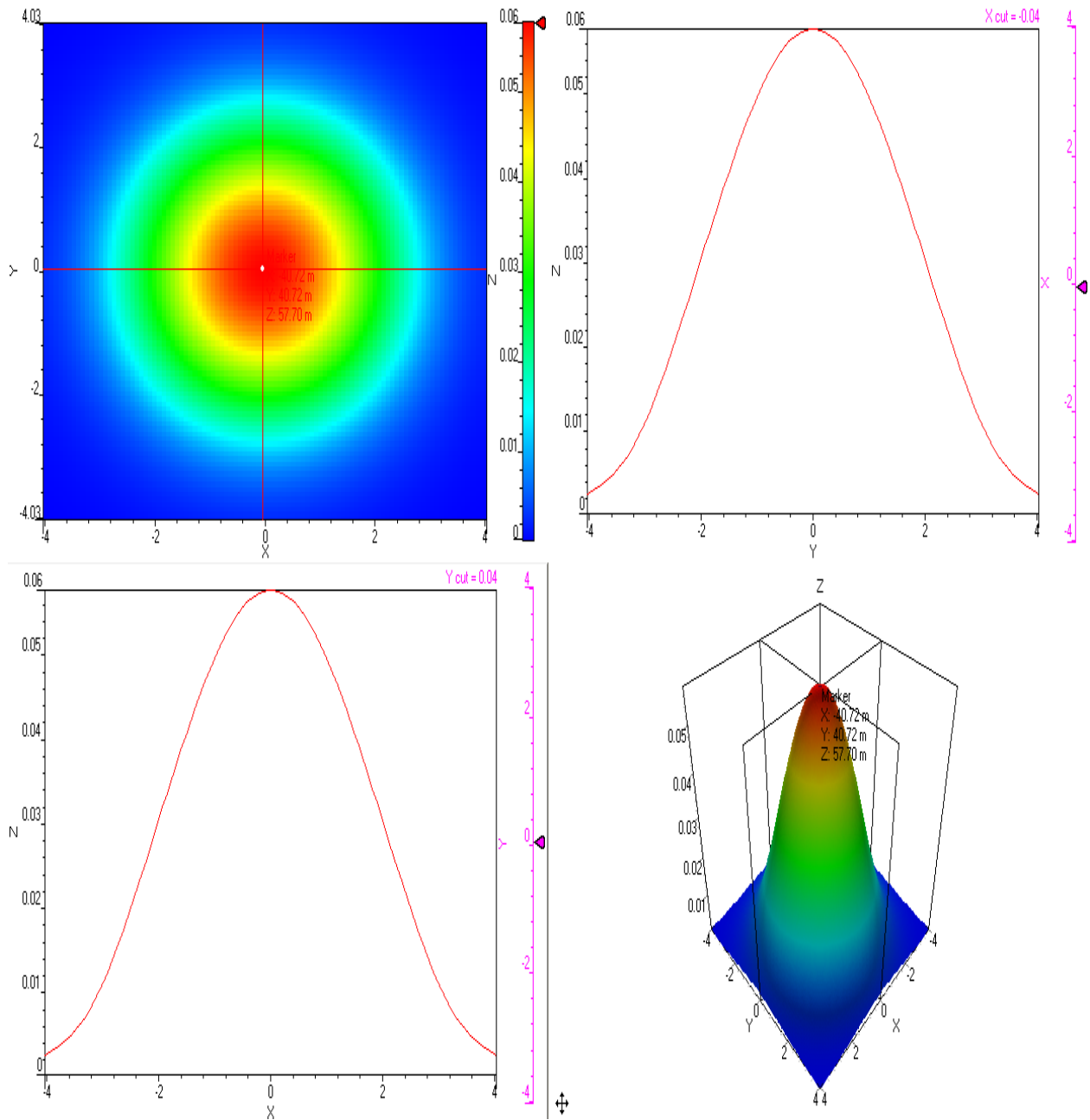


2.2-rasm. Bir modali optik nurtolaning effektiv va guruh sindirish ko‘rsatkichi.

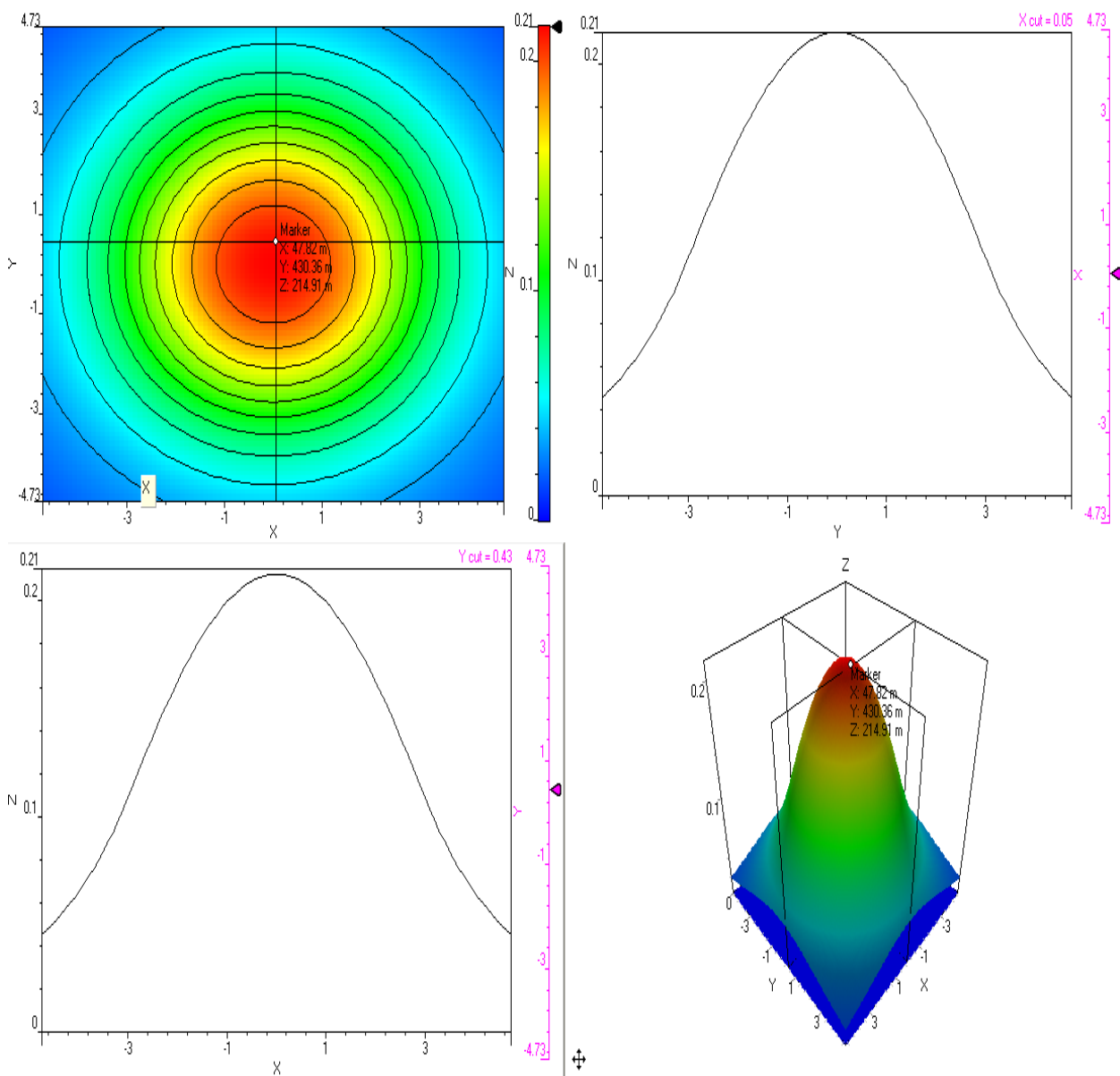


2.3-rasm. Ko‘p modali optik nurtolaning effektiv va guruh sindirish ko‘rsatkichi.

Quyidagi 2.4 va 2.5-rasmlarda bir va ko‘p modali optik nurtolalarda elektromagnit maydon amplitudasi (A) va yorug‘lik quvvati (B) ning nurtola ko‘ndalang kesimi yuzasi bo‘yicha taqsimoti grafigi keltirilgan. Grafiklardan ko‘rinib turibdiki, bir modali optik nurtolada yorug‘lik energiyasini yuza bo‘ylab zichligi juda katta va yorug‘lik quvvati va elektromagnit maydon amplitudasi oldingi paragraflarda aytilganidek, nurtola yadrosida katta diametrda tarqalishi yaqqol ko‘rinib turibdi. Ko‘p modali nurtolada esa yuqoridagi parametrlar nurtola yadrosini to‘liq egallaganligini ko‘rish mumkin.

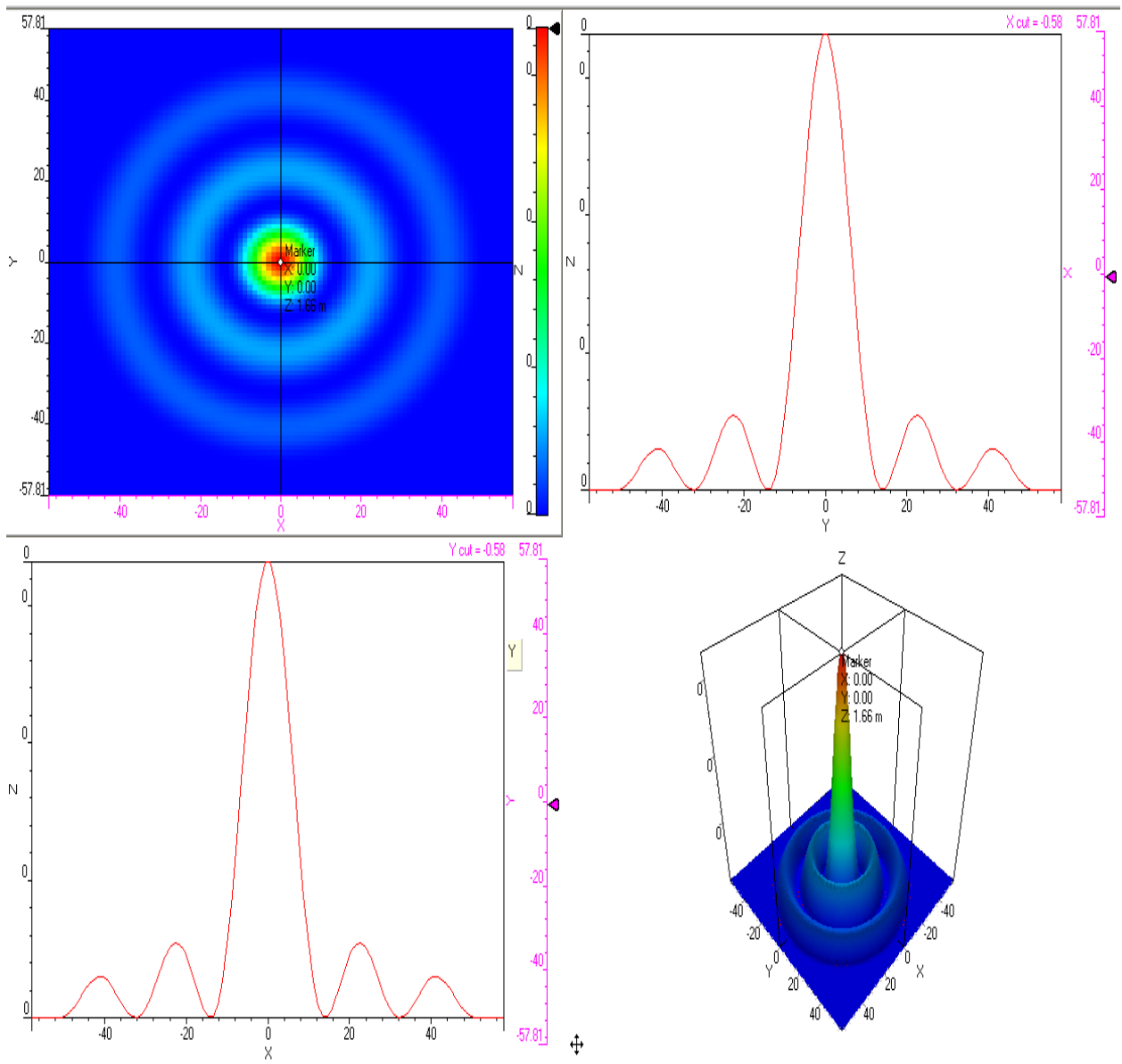


(A)
 (B) *Elektromagnit maydon amplitudasini nurtola ko'ndalang yuzasi bo'yicha taqsimoti.*

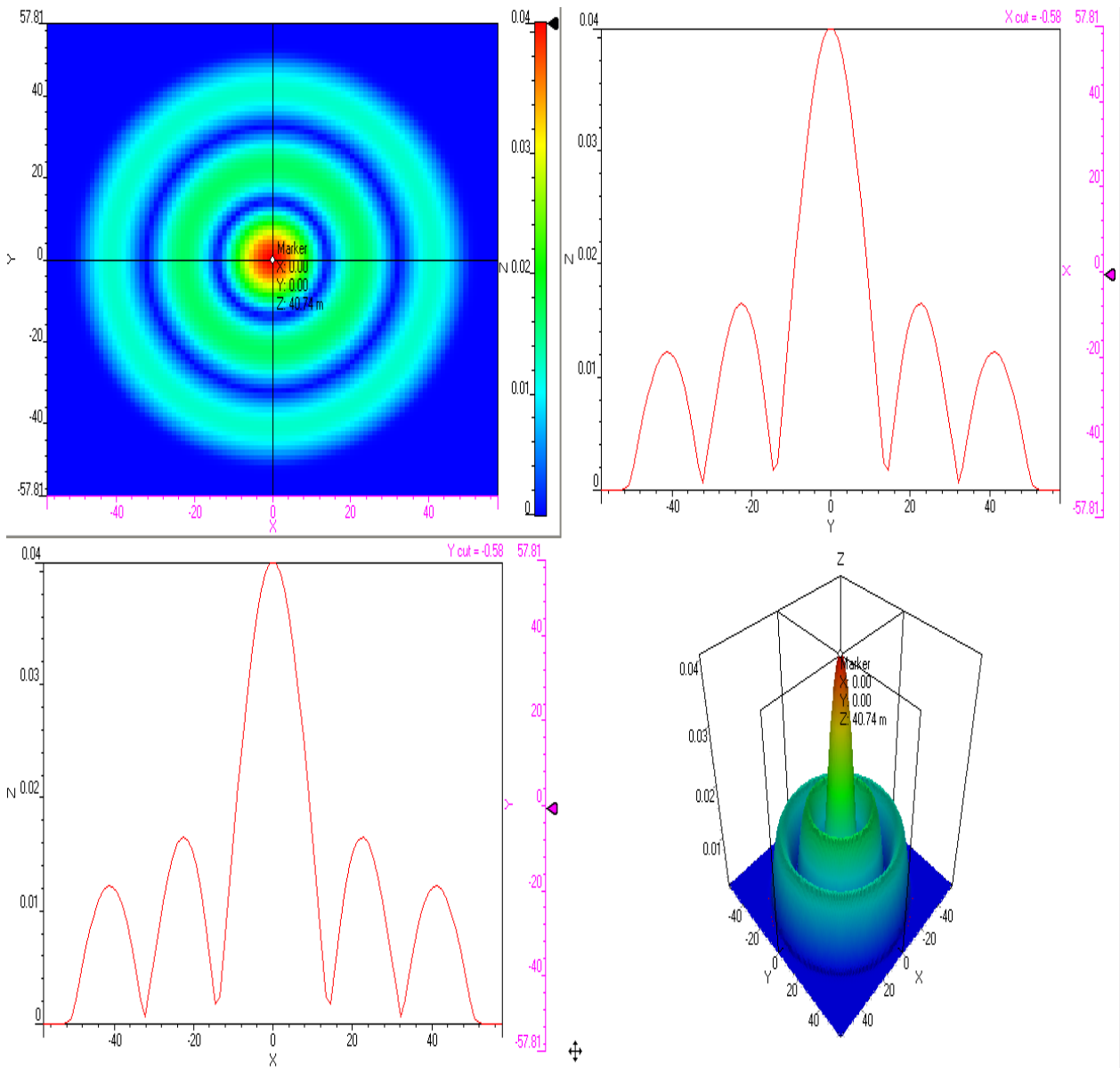


(C) Yorug'lik quvvatini nurtola ko'ndalang yuzasi bo'yicha taqsimoti.

2.4-rasm. Bir modali optik nurtolalarda amplituda va quvvat taqsimoti.



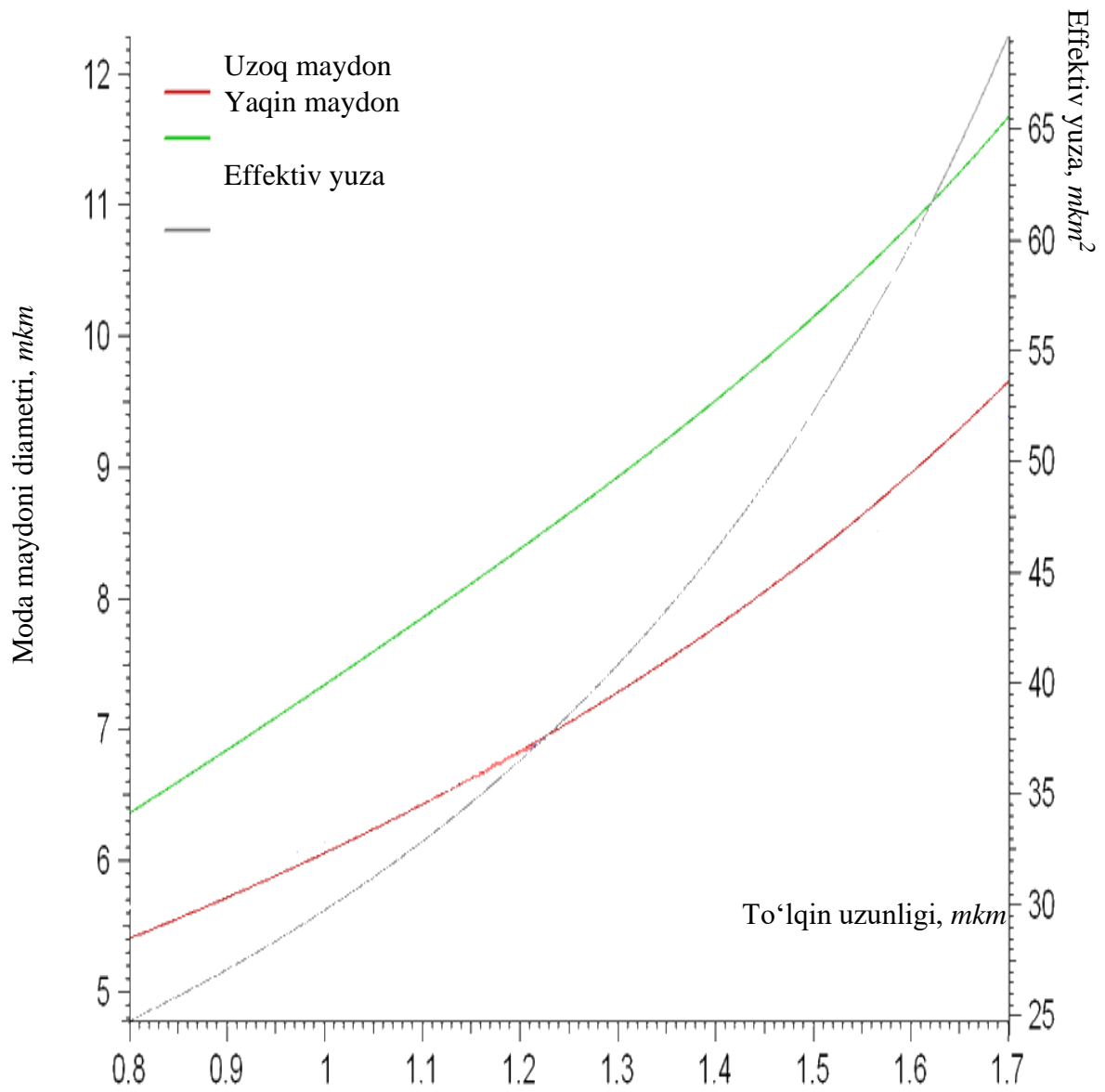
(A) .Elektromagnit maydon amplitudasini nurtola ko 'ndalang yuzasi bo 'yicha taqsimoti.



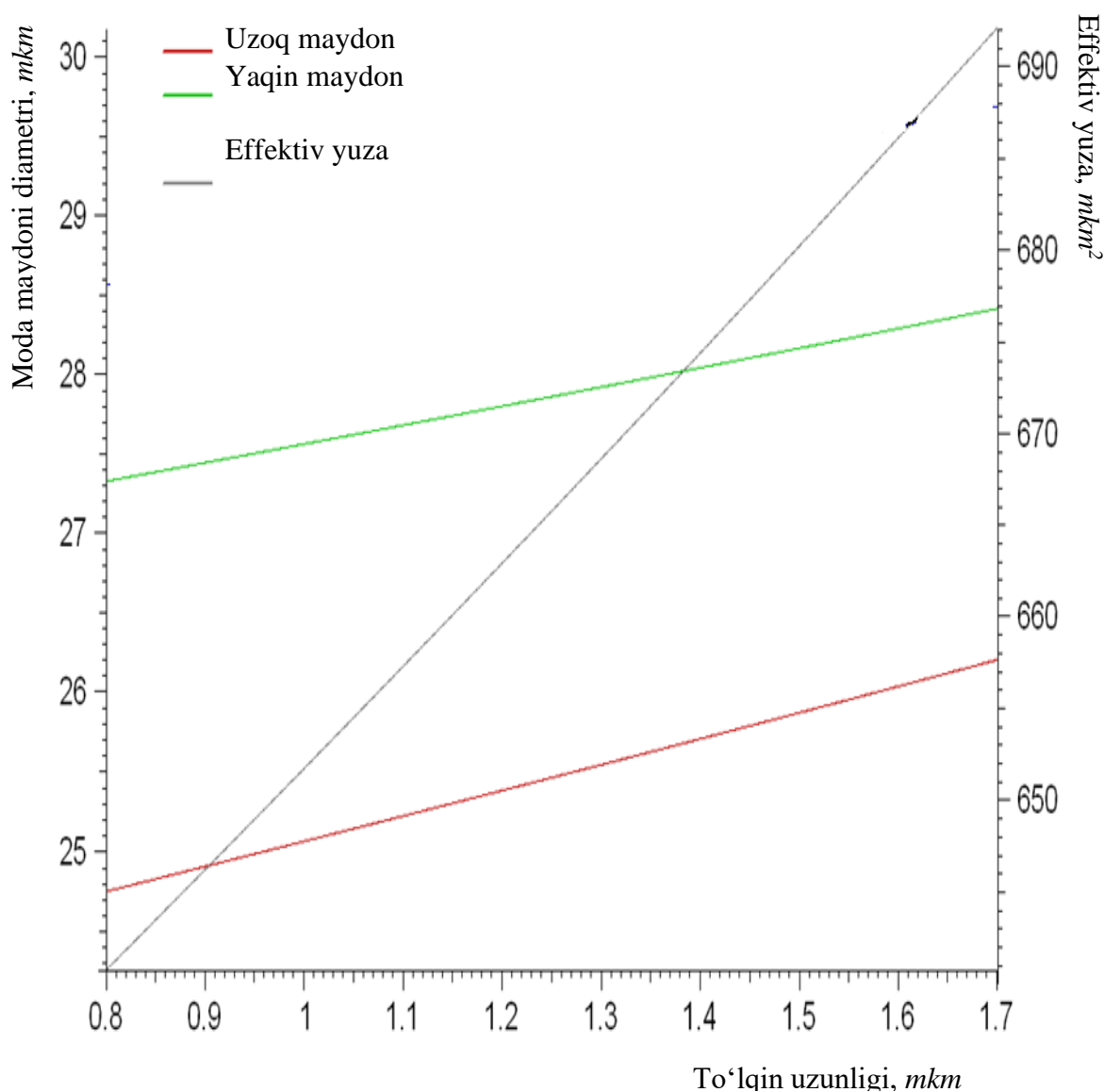
(B). Yorug'lik quvvatini nurtola ko'ndalang yuzasi bo'yicha taqsimoti.

2.5-rasm. Ko'p modali optik nurtolalarda amplituda va quvvat taqsimoti.

Quyidagi 2.6 va 2.7-rasmlarda esa bir va ko'p modali optik nurtolaning effektiv yuzasi, yaqin va uzoq maydon diametrlarini to'liq uzunligiga bog'liqlik grafigi keltirilgan.



2.6-rasm. Bir modali optik nurtolaning effektiv yuzasi, yaqin va uzoq maydon diametrlarini to 'lqin uzunligiga bog 'liqlik grafigi.



2.7-rasm. Ko'p modali optik nurtolaning effektiv yuzasi, yaqin va uzoq maydon diametrlarini to'liq uzunligiga bog'liqlik grafigi.

2.2. Bir va ko'p modali optik nurtolalarda dispersiya

Nurtolada kirish va chiqishdagi impulslarning vaqt bo'yicha kengayishi ma'lumot uzatish tezligini kamaytiradi. Demak, nurni sifatli tarqalishiga katta ta'sir ko'rsatadigan bir xossa bor. Bu xossaning nomi dispersiyadir. Bilamizki, muhit sindirish ko'rsatkichini yorug'lik to'liq chastotasi (yoki to'liq uzunligi) ga bog'liqligi bilan yuzaga keluvchi hodisalarga yorug'lik dispersiya

deb ataladi. Bu bog'lanishni $n=f(v)$ funksiya bilan xarakterlash mumkin.

Demak, dispersiya – yorug'lik impulsi (yoki signal) optik nurtolada harakatlanayotganda uning kengayishi bilan bog'liq bo'lgan hodisadir. Dispersiya kabeldagi informatsiya hajmini va o'tkazish polosasi kengligini chegaralaydi. Nurtolada dispersiya uch xil sababga ko'ra yuzaga keladi.

1. Modalararo dispersiya.
2. Molekulararo dispersiya yoki, $n=n(\lambda)$.
3. To'liqintarqatuv dispersiya.

Modalararo dispersiya — impulsning kengayishiga asosiy sababchidir. Yorug'lik impulsi nurtoladan o'tganda turli yo'llardan yuradi, shuning uchun nurtola oxirida turli vaqt momentlarida impulsning o'zgarib chiqishi kuzatiladi. Faraz qilaylik, ko'p modali nurtolaga har xil burchak ostida monoxromatik va impulsning vaqt bo'yicha o'zgarishi juda kichik bo'lgan nur tushsin (2.8-rasm). $\alpha_1=0$ burchak ostida tushayotgan nur nurtola o'qi bo'ylab eng qisqa L masofani bosib o'tib nurtoladan chiqadi. α_2 burchak ostida tushgan ikkinchi nur o'zak qobiq chegarasidan bir necha marta qaytib, birinchi nurdan biroz kechikib chiqadi. Uchinchi nur esa, maksimal α_3 burchak ostida tushayotgan bo'lsin. Shuning uchun ham u, nurtola ichida ko'p marta chegaraga tushib va undan qaytib qolgan nurlarga nisbatan uzunroq masofani bosib o'tadi va nurtoladan ancha vaqt kechikib chiqadi. Natijada, chiqishdagi impuls kengayadi. Birinchi nurni asosiy moda, uchinchi nurni eng yuqori indeksli moda deyish mumkin.

Agar kirishdagi impulsni δ -impuls deb qarajak, chiqishdagi impulsni hisoblash oson bo'ladi. Faraz qilaylik, nurtolaga kirgan δ -impuls hamma modalarni yuzaga keltirsin. U holda, yuqorida aytganimizdek, bu modalar qisqa va uzun masofalarni o'tib nurtoladan chiqadi. Bunda chiqish impulsining boshlanish moment asosiy modaning (u nurtolaning o'qi bo'ylab eng qisqa masofani bosib o'tadi) nurtoladan chiqish momentiga to'g'ri keladi. Shundan so'ng boshqa modalar ham birin-ketin kela boshlaydi. Chiqish impulsining tugayotgan momentiga eng yuqori modaning (u nurtola o'qiga nisbatan α_{mak} burchagi ostida tarqaladi) yetib kelish vaqti

to'g'ri keladi. Natijada, δ -impuls kengayib, chiqishdagi impuls τ_i davomiyligiga ega bo'ladi.

Asosiy modaning o'tgan yo'li nurtolaning uzunligi L ga teng. Eng uzoq masofani bosib o'tgan uchinchi nurning yo'li esa, $\frac{L}{\cos \alpha_{\max}}$

ga teng. Nurning to'la ichki qaytishiga binoan $\cos \alpha_{\max} = \frac{n_2}{n_1}$ va nurning

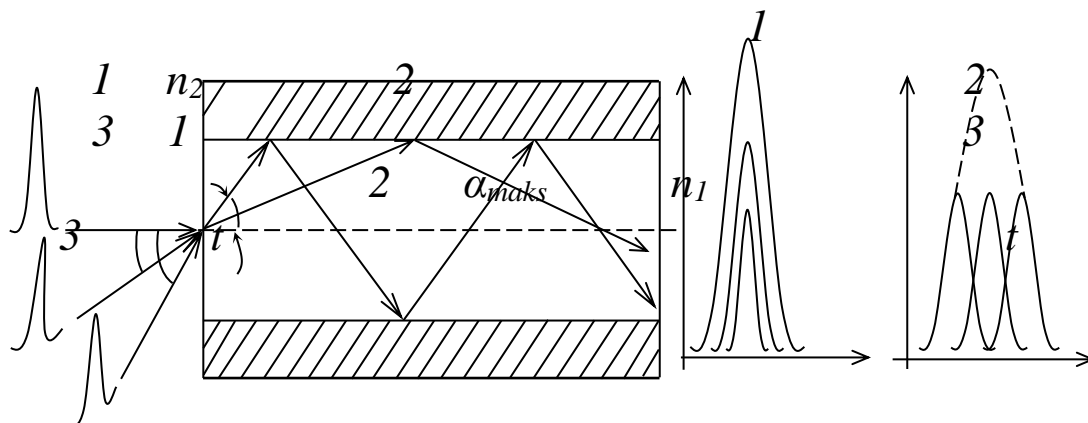
o'zakda tarqalish tezligi $g = \frac{c}{n_1}$ bo'lganligi uchun chiqish impulsining

boshlanishi $t_{\min} = \frac{L}{g} = \frac{Ln_1}{c}$ momentga, tugayotgan payti esa

$t_{\max} = \frac{L}{g \cos \alpha_{\max}} = \frac{Ln_1^2}{cn_2}$ ga to'g'ri keladi. ($n_1 \approx n_2$) ekanligini hisobga olib,

chiqish impuls davomiyligi quyidagicha bo'ladi:

$$\tau_i = t_{\max} - t_{\min} = \frac{Ln_1^2}{cn_2} - \frac{Ln_1}{c} = \frac{Ln_1(n_1 - n_2)}{cn_2} \approx \frac{L\Delta n}{c}, \quad (2.2)$$



2.8-rasm. Nurtolaning modalararo disdersiyasi.

Demak, impulsning kengayishi sindirish ko'rsatkichlari ayirmasi va nurtola uzunligiga to'g'ri proporsional ekan. Ya'ni, Δn qancha kichik bo'lsa, impulslarning kengayishi ham shuncha kichik bo'ladi, yoki, nurtola qanchalik uzun bo'lsa, kengayish ham shunchalik katta bo'ladi. (2.2) formula bo'yicha agar $\Delta n = 0,01$ deb va $L = 100 \text{ m}$ deb olsak, $\tau_i \approx 3 \text{ mks/km}$ bo'ladi. Bunday nurtolaning o'tkazish polosasi $\Delta\omega \approx (1/\tau) = 0,3 \text{ MGs}$ bo'ladi.

Modalararo dispersiya qiymatini quyidagi uch xil holda kamaytirish mumkin:

- modalarning asosiy qismi nurtola yadrosi (o'zagi) bo'ylab tarqalsa;

- "tekis" nurtolalardan (nurtola kabell to'g'richiziq bo'ylab yotqizilsa) yorug'lik nuri o'tganda tez harakatlanib, eng qisqa masofani bosib o'tishga harakat qiladi. Kirish bilan chiqishdagi signal Rasmi vaqt bo'yicha o'zgarmasdan chiqadi;

- bir modali nurtolalardan foydalanganda modalar dispersiyasi kuzatilmaydi.

Biz ko'rib o'tgan bu xulosalar modalararo energiya o'tishi bo'lmaganda o'rinlidir. Ya'ni, har bir moda nurtola o'qiga nisbatan ma'lum burchak ostida tarqalishini bilamiz. Modalarning ichida faqat asosiy (HE_{11}) modagina nurtola o'qiga parallel tarqaladi. Har qanday nurtola ham ideal bo'lmaydi, unda har xil defektlar, aralashmalar yoki mikropufakchalar bo'lishi mumkin. Bularning ta'sirida modalar o'z tarqalish burchaklarini o'zgartirishlari mumkin. Agar bir moda ikkinchi modaning traektoriyasiga (iziga) tushib qolsa, u holda birinchi moda yo'qolib (susayib) ikkinchi modaning energiyasi oshadi. Natijada modalarning tarqalish tezliklarining qiymatlari bir-biriga yaqinlasha boshlaydi. Bu jarayon nurtolaning ma'lum L_T masofasigacha yuz beradi va sekin-asta to'xtaydi. Boshqacha aytganda, yuqori modalarning bir qism energiyasi tashqariga (qobiqqa) chiqib ketadi, bir qismi esa past modalarga o'tadi va buning teskarisi ham bo'ladi. So'ngra esa bu jarayon to'xtaydi, shuning uchun bu L_T masofa modalarning turg'unlashish masofasi deyiladi. U holda impulsning davomiyligini quyidagicha aniqlash mumkin:

$$\tau_i = \frac{\Delta n}{c} \sqrt{LL_T}, \quad (2.3)$$

Molekulalararo dispersiya. Bu nurtola sindirish ko'rsatkichining, yorug'lik to'lqin uzunligi λ ga bog'liqligidan kelib chiqadi. Nurtolalarda tezliklari va to'lqin uzunliklari farqi hatto bir modali bo'lsa ham kuzatilishi mumkin. Har xil to'lqin uzunlikdagi nurlar

farqli tezliklar bilan harakatlanadi. Nur tezliklari qiymati ϑ dan har xil to'liqin uzunliklarni aniqlash mumkin. Shunday qilib, to'liqin uzunligi λ sindirish ko'rsatkichi n ga bog'liq ekan. Bu hodisa bilan bog'liq bo'lgan dispersiya *molekulalararo* yoki *material dispersiya* deb nomlanadi. U nurtola materialining fizik xususiyatlariga bog'liqdir. Molekulalararo dispersiyaning shartlari quyidagi faktarga bog'liq:

- odatda bitta to'liqin uzunlikli manba bo'lishi mumkin emas. U bir qancha nurlanish sochadi. Agar to'liqin uzunligi diapazoni nanometrlarda ifodalansa, manbaning spektral kengligi deb nomlanadi. Spektral kenglik yorug'lik diodlarida 35 nm bo'lsa, lazerlarda 2 nm dan 3 nm gacha bo'ladi.

- manbada o'rtacha ishchi to'liqin uzunligi bo'ladi. 850 nm li soxada to'liqin uzunligi kattaroq (qizilroq) bo'lgani tez harakatlanib, kichikroq (ko'kroq) to'liqin uzunlikli nurga yetib oladi.

Shisha nurtolada 850 nm li to'liqinga nisbatan, 860 nm li to'liqin tez harakatlanadi. 1550 nm li soxada jarayon almashadi: qisqaroq to'liqin tez harakatlanib, kattaroq uzunlikli to'liqin bilan tenglashib oladi. 1540 nm li to'liqinga nisbatan, 1560 nm li to'liqin sekin harakatlanadi. Spektrning bir necha nuqtasida qizilroq va ko'kroq bo'lgan nurlar bir xil tezlik bilan tarqalishini ko'rishimiz mumkin. Har xil to'liqin uzunlikli nurlar taxminan 1300 nm atrofida tezliklari mos bo'lib, bu *nolinchi dispersiya* deb nomlanadi. Bir va ko'p modali nurtola materialining dispersiyasi quyidagi 19 va 20-rasmda keltirilgan. Bunda 1300 nm dan past sohada dispersiya manfiy bo'lib, orqada qolgan to'liqin ikkinchisiga yetib oladi. 1300 nm dan yuqori sohalarda dispersiya musbat bo'lib, oldindagi tez ketgan to'liqinga ikkinchisi yetib oladi.

Molekulalararo dispersiya asosan, bir modali sistemalarda kuzatiladi. Optik nurtola sistemalarining ko'pchiligi ma'lumot uzatishda $\lambda=820\div 850 \text{ nm}$ diapazonida foydalaniladi. Ushbu diapazonda molekulyar dispersiya taxminan $0,1 \text{ ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})$ ga teng.

To'liqin tarqatuv dispersiya. Yuzaga kelishining sababi, nurtoladan o'tayotgan nurga o'zak va qobiq sindirish ko'rsatkichlarining farqi ta'sir ko'rsatadi. Real sharoitda nurtolaga kiritiladigan har qanday optik signal ma'lum spektrga va bu spektr qandaydir $\Delta\lambda$

kenglikga ega bo‘ladi. Demak, $\Delta\lambda$ intervalda joylashgan $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots$ to‘lqin uzunlikga ega bo‘lgan nurlar. $g_1 = \frac{c}{n(\lambda_1)}$; $g_2 = \frac{c}{n(\lambda_2)}$; $g_3 = \frac{c}{n(\lambda_3)}$; ... , tezlik bilan tarqaladi. Bundan tashqari nurtola ichki strikturalarining o‘zgarishi to‘lqintarqatuv dispersiyasiga ancha ta’sir qiladi.

Bir modali nurtolalarda dispersiyaning xususiyatlari muhim ahamiyatga ega. Ushbu dispersiya hodisasida manba spektral kengliklari *pikosekundiga nanometrda va kilometrda (ps/km·nm)* ifodalanadi. Bir modali nurtola dispersiyasini o‘tkazish polosasi orqali aniq ifodalash qiyin. Shuning uchun uni quyidagi tenglama asosida taxminiy baholash mumkin. [4] [6] [8]

$$BW = \frac{0,187}{(Disp)(SW)(L)}, \quad (2.4)$$

bu yerda *Disp* – ishchi to‘lqin uzunligidagi dispersiya (*s/km·nm*);

SW – manbaning spektral kengligi, *nm*;

L – nurtola uzunligi, *km*.

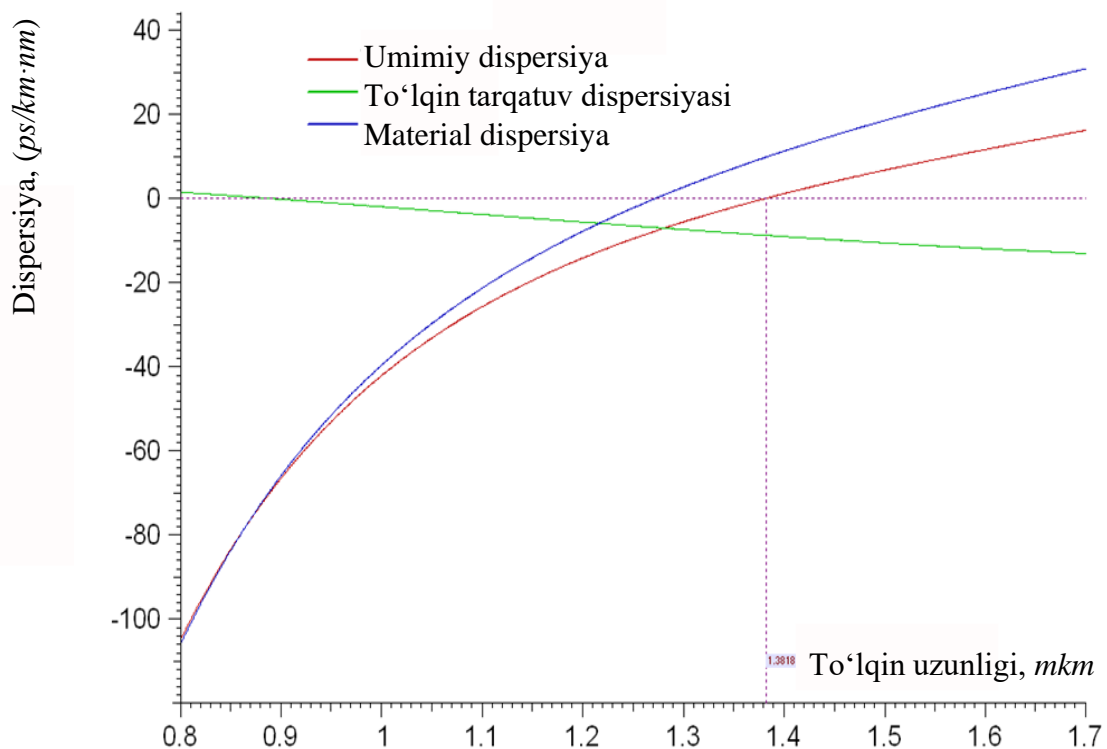
Misol uchun: *Disp* – 3,5 (*s/nm·km*), *SW* – 2 *nm*, *L* – 25 *km* bo‘lsin.

$$BW = \frac{0,187}{(3,5 \cdot 10^{-12} \text{ s / nm / km})(2 \text{ nm})(25 \text{ km})} = 1068 \text{ MGs}$$

Yuqorida ko‘rib o‘tilgan keyingi ikki material va to‘lqin tarqatuv dispersiya adabiyotlarda xiromatik dispersiya deb ham yuritiladi.

Yuqoridagi grafikda bir modali optik nurtolaning dispersiyasi ko‘rsatilgan. Ko‘k chiziq nurtola shishasining material dispersiyasi. U 1274 *nm* da nolga teng. Material dispersiya shishadan yasalgan nurtolar uchun deyarli bir xil bo‘lib, shishadagi aralashmalar konsentratsiyasiga qarab biroz o‘zgarishi mumkin. Grafikdagi yashil chiziq nurtolaning to‘lqin tarqatuv dispersiyasi bo‘lib, u o‘zak va qobiq sindirish ko‘rsatkichi farqi va ularning diametrlari, proporsiyalariga bog‘liq

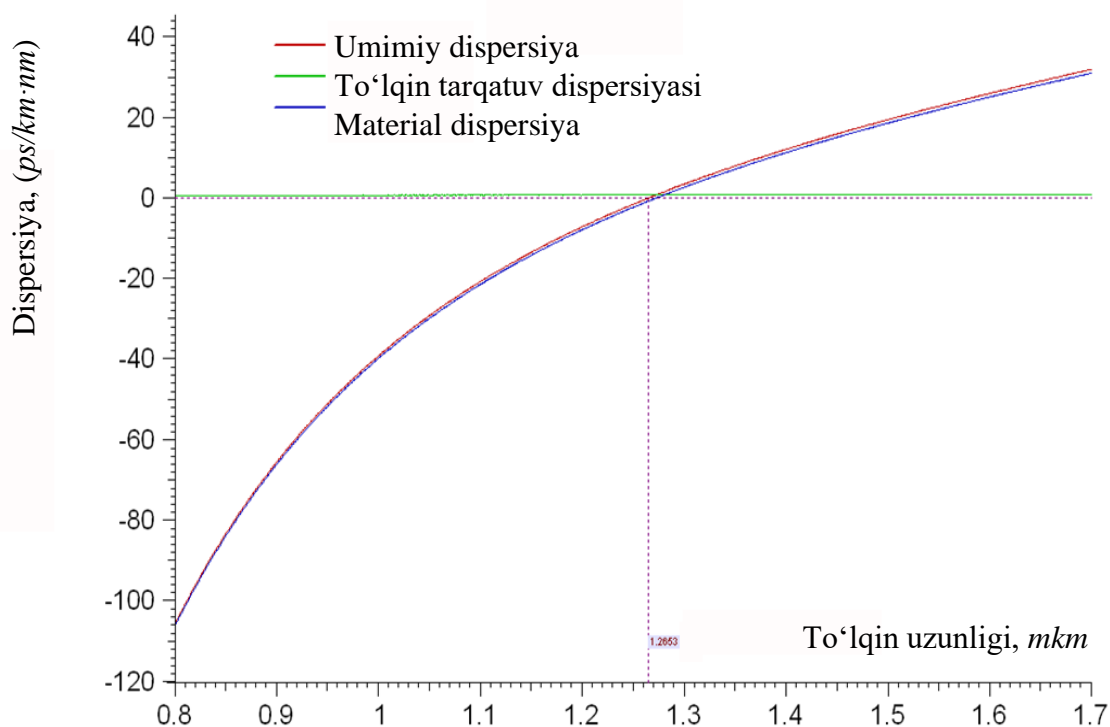
ravishda o‘zgaruvchi parametrdir. Grafikdan ko‘rinib turibdiki, to‘lqin tarqatuv dispersiyasi 870 nm da nolga teng. Undan yuqori to‘lqin uzunliklarida manfiydir. Qizil chiziq nurtolaning to‘la dispersiyasi bo‘lib u material va to‘lqin tarqatuv dispersiyalari yig‘indisiga teng. Mazkur nurtola uchun u 1382 nm da nolga teng. Bu nurtolaning nolinchi dispersiyasi to‘lqin uzunligi deyiladi. Bu to‘lqin uzunlikda tarqalgan nur nurtolada deyarli dispersiyaga uchramaydi.



2.9-rasm. Bir modali nurtolaning material, to‘lqin tarqatuv va to‘liq dispersiyalarining to‘lqin uzunligiga bog‘liqligi.

Ko‘p modali nurtolaning material, to‘lqin tarqatuv va to‘liq dispersiyalarining to‘lqin uzunligiga bog‘liqligi grafigi (20-rasm.) da keltirilgan. Bir modali nurtoladan farqli ravishda bu nurtolada to‘lqin tarqatuv dispersiyasi (yashil chiziq) noldan juda kam farqlanadi va barcha to‘lqin uzunliklari uchun konstantadir. Material dispersiya (ko‘k chiziq) esa yuqorida ko‘rgan bir modali nurtolaniki bilan bir xil (1274 nm da nolga teng). Nurtolaning to‘liq dispersiyasi (qizil chiziq) material dispersiyadan to‘lqin tarqatuv dispersiyasi hisobiga kam miqdorda chapga surilgan va 1265 nm da nolinchi dispersiyaga ega. Bu turdagi

nurtolalarda to‘lqin tarqatuv dispersiyadan ko‘ra ko‘proq modali dispersiya katta ahamiyatga ega.



2.10-rasm. Ko‘p modali nurtolaning material, to‘lqin tarqatuv va to‘liq dispersiyalarining to‘lqin uzunligiga bog‘liqligi.

2.3. Nurtolardagi so‘nish koeffitsiyentini aniqlash

So‘nish spektrini o‘lchashning bir nechta usuli bor. Biz oddiy va keng tarqalgan «sindirish metodi» deb ataladigan usulni ko‘rib chiqamiz.

Yorug‘lik manbai (quvvati $100\div 150\text{ Vt}$ bo‘lgan maxsus volfram spiralli yoki galogen lampa) nurini L_1 obyektiv yordamida M monoxromatorning kirish tirqishiga yig‘iladi, chiqish tirqishida esa monoxromator barabanining holatiga mos kelgan to‘lqin uzunligidagi nur ajraladi. Bu nur L_2 va L_3 mikroobyektivlar yordamida nurtolaning kirish ko‘ndalang kesimiga tushiriladi. Nurtoladan chiqqan nurni L_6 mikroobyektiv FP_2 fotopriyomnikka tushiradi. Hosil bo‘lgan elektr signali U kuchaytirgichda kuchaytirilib spektr yozuvchi E qurilmaga beriladi. Agar monoxromator barabanini aylantirib har xil to‘lqin uzunligidagi nurni nurtolaga tushirsak, spektr yozuvchi qurilma so‘nish spektrini yozib beradi. Lekin bu haqiqiy spektr bo‘la olmaydi. Chunki, biz har bir to‘lqin uzunligi λ ga ega bo‘lgan nurning

kirishdagi quvvatini bilmaymiz. Bu qiyinchilikni yo‘qotish uchun spektr ikki marta o‘lchanadi – katta L_1 va kichik L_2 uzunlikda. Buning uchun uzunligi $0,5 \div 1 \text{ km}$ atrofida bo‘lgan nurtola olinib, uning kerakli diapazonda so‘nish spektri o‘lchanadi, keyin undan $2 \div 3 \text{ metr}$ nurtola qoldirilib (bunda nurtolaga nur kiritish sharoitlari mutlaqo o‘zgarmay qolishi shart), spektr yana bir marta o‘lchanadi. Natijaviy spektr quyidagicha topiladi. *Buger–Lambert* qonuni bo‘yicha L_1 va L_2 uzunlikdagi nurtolalarning chiqishidagi nurlarning quvvati quyidagi formulalardan topiladi:

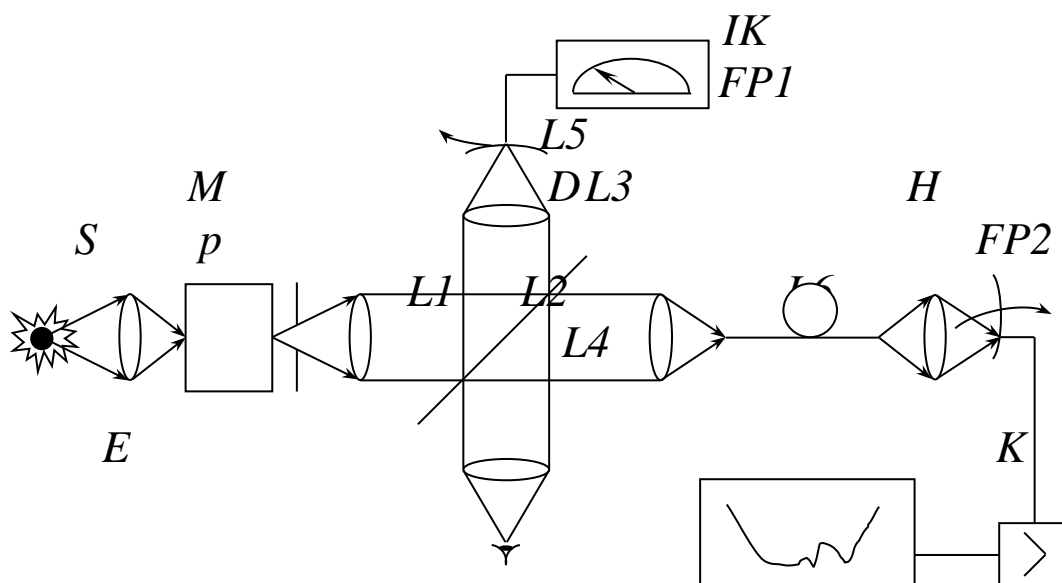
$$I_1(L_1) = I_0 e^{-\alpha L_1}, \quad (2.5)$$

$$I_2(L_2) = I_0 e^{-\alpha L_2}, \quad (2.6)$$

Bundan $\frac{I_1}{I_2} = e^{-\alpha(L_1-L_2)}$ va $\frac{I_2}{I_1} = e^{\alpha(L_1-L_2)}$ kelib chiqadi.

Bu ifodani logarifmlasak quyidagi ifoda hosil bo‘ladi:

$$\alpha = \frac{1}{L_1 - L_2} \ln \frac{I_2}{I_1}, \quad (2.7)$$



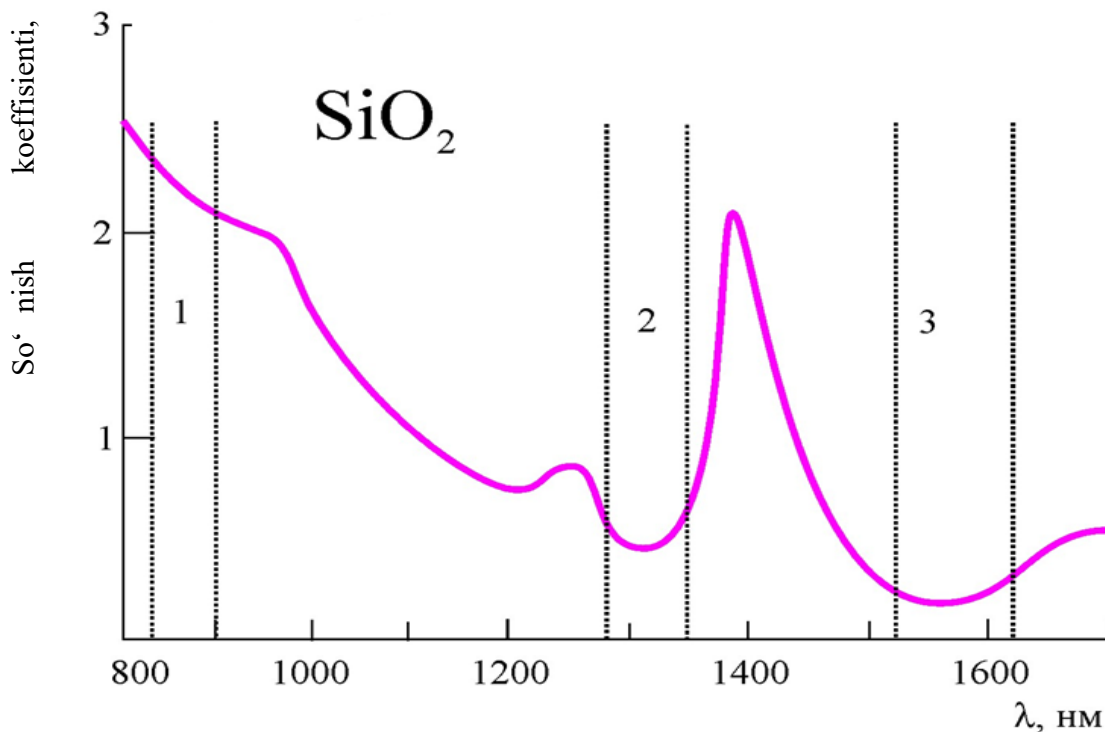
2.11-rasm. Nurtolalar so‘nish spektrini «sindirish metodi» bilan o‘lchash sxemasi:

S – yorug‘lik manbai; L_1 va L_2 – mikroobyektivlar; M – monoxromator; FP_1 va FP_2 – fotopriyoniklar; IK – nurtolaga kiruvchi nur

intensivligining kontroli; H – nurtola; K – kuchaytirgich; E – spektrni yozuvchi asbob; p –nurni bo‘luvchi shaffof shisha plastinka.

Yuqoridagi eksperimental qurilmadan foydalanib nurtoladagi yorug‘lik so‘nish koeffitsiyentini to‘lqin uzunligiga bog‘liqligi tadqiq qilindi (2.11-rasm).

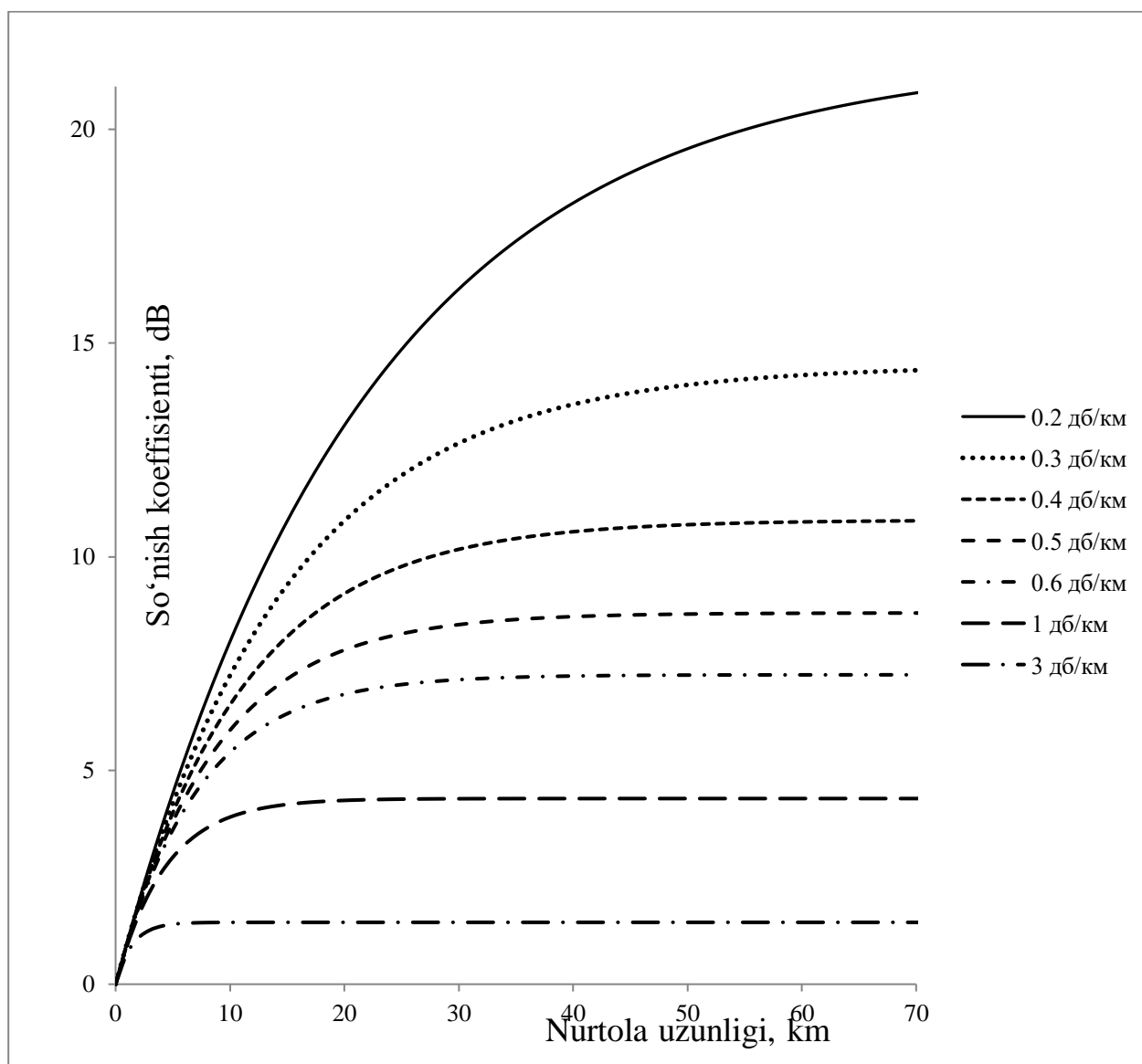
Grafikdan ko‘rinib turibdiki, so‘nish koeffitsiyenti $0,8 \text{ mkm}$ dan $1,15 \text{ mkm}$ gacha Reley sochilishiga mos silliq kamayib boradi. $0,93$, $1,21$ va $1,4 \text{ mkm}$ to‘lqin uzunliklarida kremniy dioksididagi OH guruhlarning adsobrsiya piklari mavjud. Grafikda shartli ravishda belgilab olingan $0,85$, $1,30$ va $1,55 \text{ mkm}$ li sohalar nurtolalarda optik signallarni uzatish uchun qulay sohalardir va bu to‘lqin uzunliklarida bugungi kunda femtosekund ($1 \text{ fs} = 10^{-15} \text{ s}$) diapazongacha bo‘lgan lazerlar yaratilgan. $1,30 \text{ mkm}$ soha kremniy nurtolalar nolinch dispersiyasi to‘lqin uzunligi sohasida bo‘lsa, $1,55 \text{ mkm}$ li sohada shisha nurtolalar eng kam ($0,15 \text{ dB/km}$ gacha) so‘nish koeffitsiyentiga ega. $0,8 \text{ mkm}$ li sohada esa eng qisqa impulsli (20 fs gacha) titan – sapfir lazerlari mavjud [2] [5] [7] [8].



2.12-rasm. So‘nish koeffitsiyentini to‘lqin uzunligiga bog‘liqligi.

Bundan tashqari (2.4) va (2.5) formulalardan foydalanib nurlarning soʻnish koeffitsiyentining uning uzunligiga bogʻliqligini nazariy jihatdan hisoblab topilgan natijalar asosida quyidagi grafik (2.13-rasm.) olingan.

Grafikdan maʼlumki, har bir soʻnish koeffitsiyentiga mos nurlar uzunligining toʻyinish koeffitsiyenti mavjud.



2.13-rasm. Soʻnish koeffitsiyentini nurlar uzunligiga bogʻliqligi.

3-BOB OPTIK TOLALI UZATISHGA KIRISH

3.1. Tarmoqli kengligi talablari

Optik tola – zamonaviy yer usti aloqa tarmoqlarida foydalaniladigan uzatish vositasi. Bu sizga katta hajmdagi ma'lumotlarni uzatish imkonini beradi. Agar uning o'tkazish qobiliyatini va aloqa kanalining sig'imini solishtirsak, 1 bit / s o'tkazish qobiliyatining 1 gertsiga to'g'ri keladi deb faraz qilsak, bunday kanalning sig'imi cheksizlikka yaqin degan xulosaga kelishimiz mumkin. Aslida, butun foydalanilgan radiochastota spektri (biz u 3 kHz - 200 gigagertsli diapazonga to'g'ri keladi deb taxmin qilamiz) bitta tola orqali uzatilishi mumkin.

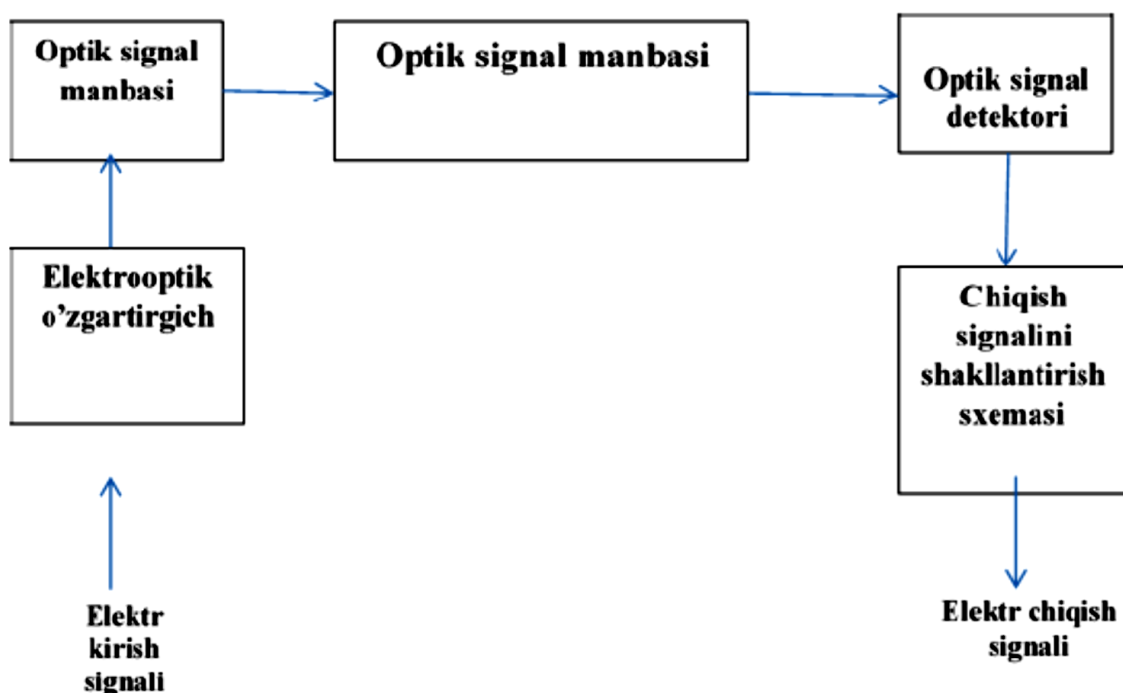
Optik tolali raqamli uzatish sxemasiga yaxshi mos keladi. Masalan, koaksiyal kabel va bir juft sim orqali uzatish, optik tola orqali amalga oshirilgandan ko'ra, an'anaviy uzunlik birligi uchun sezilarli darajada ko'proq takrorlagichlarni (regeneratorlarni) talab qiladi. Bu nisbat 20:1 dan 100:1 gacha. Natijada, optik tolalia orqali uzatishda to'plangan jitter (jitter) mis simlar orqali uzatishga qaraganda ancha past bo'ladi. Buning sababi shundaki, to'plangan tizimli jitter ketma-ket takrorlanuvchilar soniga bog'liq.

Mavjud texnologiya bilan tolaning sig'imi (bit tezligiga ekvivalent) bit oqimi uchun 10 Gb / s ga yetishi mumkin. To'liqinli multiplekslash texnologiyasidan foydalanib, bitta tolaga kamida 80 ta shunday oqimlarni o'tkazish mumkin (ushbu kitob tarjima qilingan paytda bu raqam allaqachon 320 ta edi). Oddiy ko'paytirish bizga 800 Gb/s ekvivalent sig'im ko'rsatkichini beradi. Ushbu kitob chiqqan vaqtga kelib, bitta bitli oqim 40 Gb/s tezlikni o'tkazishi mumkin edi. Shunday qilib, 80 ni bir xil, lekin 40 ga ko'paytirish bizga har bir tolaga 3,2 Tbps ekvivalent quvvatni beradi. Faraz qilaylik, optik tolali kabel (OTK) 24 ta tolaga ega, ulardan 4 tasi ortiqcha. Keyin qolgan 20 tasi 10 ta nosimmetrik to'liq dupleks (ikki tomonlama) kanallarni tashkil qilish imkonini beradi. Shunday qilib, har bir tola uchun 3,2 Tbit / s quvvatga ega bo'lgan holda, biz 32 Tbit / s OTK umumiy quvvatini olamiz. Bu quvvat bir muncha vaqt aloqa kanalining sig'imiga bo'lgan joriy talablarni qondirishi mumkin edi.

Eng murakkab kodlash (qadoqlash) texnikasi va 40 MGts diapazonda 18 gigagertsli tashuvchidan foydalanish bilan hozirda 655 Mbit / s tezlikda oqim uzatilishi mumkin. Agar biz 10 ta bunday tashuvchilarni bir yo‘nalishda va boshqa yo‘nalishda uzatishga ruxsat beradigan bo‘lsak, unda bunday tizimning umumiy transport sig‘imi 6 Gbit / s ni tashkil qiladi, bu bitta OTK orqali uzatiladigan sig‘imning atigi 1/500 qismini tashkil qiladi. Biroq, zamonaviy texnikadan foydalangan holda optik tolali uzatish tizimi (OTUT), albatta, xuddi shunday bit qadoqlash texnikasidan foydalanmaydi.

3.2. Optik tolali uzatish tizimining modeli

3.1-rasmda oddiy OTUT modelini taqdim etadi. Quyidagi matnda biz ushbu modelga tez-tez murojaat qilamiz. OTUT qandaydir radio yoki simsiz uzatish tizimiga o‘xshashligini ko‘rish uchun ko‘p tasavvur talab etilmaydi.



3.1-rasm. Soddalashtirilgan OTUT modeli

3.1-jadvalda shunga o‘xshash rasmni taqqoslaydi. U yuqoridagi modelni ketma-ket tashkil etuvchi bloklarni o‘z ichiga oladi. Ushbu

taqqoslash shuni ko'rsatadiki, ko'p jihatdan OTUT simli (mis) yoki radio uzatish tizimidan unchalik farq qilmaydi.

Bloklardagi operatsiyalar analog yoki raqamli bo'lishi mumkin. Ko'pgina kabel televideniyesi tizimlari analog formatdan foydalanadi, ammo vaqt o'tishi bilan u raqamli formatga o'tmoqda. 3.1 rasmga izoh sifatida impuls ketma-ketligi va kodlarining 3.1 jadvaldan muhokama qilinadi, ya'ni biz blok diagrammada chapdan o'ngga siljigan holda har bir blokning funksiyasini qisqacha tasvirlab beramiz. Elektro-optik NF> konvertor (EOP) raqamli elektr signalini optik NRZ yoki RZ signaliga yoki Manchester kodidan foydalangan holda signalga aylantiradi. Shuningdek, u kirish impulslari uchun kerakli DC ofset darajasini o'rnatadi.

Optik tola yorug'lik manbasiga joylashtirilgan. Taqdimot davomida ba'zi joylarda bu manba transmitter deb ataladi. Bugungi kunda amaliyotda keng qo'llaniladigan ikki xil yorug'lik manbalari mavjud: yorug'lik chiqaruvchi diod - YChD (LED) va lazerli diod - LD (LD). Ikkala manba ham -10dBm dan +6dBm gacha bo'lgan nisbatan past chiqish qurilmalaridir. Ular intensivlik modulyatsiyasidan foydalanadilar, biz buni birinchi qarashda yoqish-o'chirish modulyatsiyasi deb ataymiz.

3.1-jadval

Analogiya usuli bilan taqqoslash

Optik tolali aloqa liniyasi	Radio/simsiz/simli liniya	Izoh
Elektro-optik konvertor (o'zgartkich)	Modulyator yoki signal konditsioneri	Har uch holat ham qandaydir to'lqin Rasmini o'zgartirishni talab qiladi, masalan, AMI dan NRZ ga
Optik signal manbai	Signal manbai (uzatuvchi yoki modem)	Signal manbai chiqishi, odatda past
Optik tolali uzatish vositasi	Radio signalini atmosfera yoki radio / audio	

	signal orqali mis simlar orqali uzatish	
Optik signal detektori	Modem qabul qiluvchi yoki demodulyator	Barcha 3 holatda qabul qiluvchining chegarasi xato ishlashini aniqlaydi
Chiqish signalini ishlab chiqarish sxemasi	Qabul qiluvchi yoki modem chiqishi va signal konditsioneri chiqarish sxemasi	

Bu manba OTKdagi optik tolalardan biri orqali (boshqa tolalar boshqa maqsadlarda, shu jumladan ortiqchalik uchun ishlatiladi) uzoq uchidagi yorug'lik signali detektoriga ulanadi. OTK 2 - bobda batafsil muhokama qilinadi. Kabel ichidagi optik tolalar bir modli yoki Ko'p modli bo'lishi mumkin. Tolaning fizik o'lchamlari (uning yadrosining diametri) uning qanday turini aniqlaydi. Muayyan loyiha uchun qaysi turdagi toladan foydalanishni aniqlash mumkin bo'lgan iqtisodiy va operatsion jihatlar mavjud.

OTK uzunligi 1, 2, 5 va 10 km bo'lgan bitta simli uchastkani ifodalovchi g'altaklarda (yoki barabanlarda) yetkazib beriladi. (Buyurtmachi tomonidan talab qilinadigan ma'lum bino uzunliklari bilan ham aniqlanishi mumkin). Optik ulagichlar (yoki ulagichlar) kabellarning uchlarida (har ikki tomonda) kabelni belgilangan manba va detektorga ulash uchun ishlatiladi. Uzoq chiziqlar (OTUT) uchun bu bobinlarning bir nechtasi talab qilinishi mumkin. Qurilish uzunliklari bir-biriga bog'lash orqali ulanadi. Qo'shimchalar va optik ulagichlar 5 bobda muhokama qilinadi. Shu munosabat bilan, odatda, ikkita eng muhim parametr ko'rib chiqiladi: kiritish yo'qolishi va qaytish yo'qolishi. Qo'shimchaning mavjudligidan kelib chiqadigan kiritish yo'qolishi 0,1 dB dan kam bo'lishi kerak, optik ulagichning mavjudligi bilan bir xil yo'qotish esa 1 dB dan kam bo'lishi kerak. Bog'lanish va kabel o'rtasidagi impedans moslashuv darajasini belgilaydigan qaytarilish yo'qolishi (yoki aks ettirish yo'qolishi) kamida 30 dB bo'lishi kerak.

Qabul qilgich yoki optik tolali liniyaning eng chekkasidagi yorug'lik detektori asosan foton hisoblagichidir. Aksariyat OTUT hozirda ikki turdagi qabul qiluvchilardan foydalanadi: PIN-duod va ko'chki fotodiodi – KF (APD). PIN-diod, umuman olganda, oddiyroq va atrof-muhit o'zgarishlariga kamroq sezgir, chunki u ichki kuchaytirgichga ega emas. APD yanada murakkab va atrof-muhit o'zgarishlariga nisbatan sezgir, ammo 10-20 dB qo'shimcha daromad keltirishi mumkin. OTUT dizayneri ma'lum bir bit xatolik darajasi BXD (BER) darajasiga qarab qabul qiluvchi chegarani tanlaydi. (Quyida BER asl nusxada ishlatilgan, ammo ITU-T standartlari tomonidan tavsiya etilmagan Bit xatolik darajasi (xato tezligi) emas, balki Bit xatolik darajasi (xato darajasi) deb tushuniladi.).

Qabul qiluvchining chegarasi – bu salbiy dBm qiymati sifatida ifodalangan kirish quvvati darajasi va bir qator omillarga bog'liq: qabul qiluvchining turi, ma'lum darajada, uning dizayni, uzatish tezligi va, albatta, BER darajasi. Tizimni loyihalashda qabul qiluvchining kirish qismidagi signal darajasi haddan tashqari ko'p bo'lmasligiga e'tibor berish kerak. Qisqa uchastkalarda kirish signali darajasini kerakli diapazonga o'tkazish uchun ko'pincha qabul qiluvchi bilan ketma-ket optik attenyuatordan foydalanish kerak bo'ladi [1.1].

3.2 - jadvalda turli xil tizimlarning ishlashining yomonlashishiga turli sabablarning ta'siri bo'yicha qiyosiy ma'lumotlarni taqdim etadi: OTUT, radio tizimlar, simsiz tizimlar va simli uzatish tizimlari.

3.2.1. Optik tola orqali signal uzatish uchun ishlatiladigan to'lqin uzunligi diapazonlari

Radio, simli va kabel uzatish tizimlari radiochastota spektridagi tizim egallagan ish maydonini tavsiflash uchun chastota tushunchasidan foydalanadi. Chastota gertsda o'lchanadi. Aytilishicha, OTUT fiziklar tomonidan olib borilgan tadqiqot va ishlanmalarning samarasidir, shuning uchun to'lqin uzunligi tushunchasi ularning ish maydonining radiochastota spektridagi o'rnini tavsiflash uchun ishlatiladi.

**Turli xil uzatish tizimlarining ish faoliyatini yomonlashishiga
turli sabablarning ta'sirini taqqoslash**

Ko'rsatkich/ sabab BER	Radio tizimlari va simsiz tizimlar 1×10^{-9}	Simli tizimlar 1×10^{-10}	OTK 1×10^{-12}
Chiziqni yo'qotish (dB) Asosiy buzilish	Asosiy buzilish	Asosiy buzilish	Asosiy buzilish
Dispersiya	Yuqori tezlikda yomonlashishi mumkin	Buzilishning asosiy sababi emas	Yuqori tezlikda yomonlashishi mumkin
So'nish	Ta'sir qilish	Yo'q	Yo'q
Yig'ilgan jitter	O'rtacha ta'sir qiladi	Kuchli ta'sir qiladi	Kam ta'sir
Ishonchsizlik	Past	O'rta	Yuqori
Kanal sig'imi	Низкая/средняя	Past / o'rta	Juda baland
Yomg'irni yutish yo'qolishi	10 gigagertsli chastotada asosiy yo'qotish	Yo'q	Yo'q
EMC: elektro- magnit nurla- nishga sezgirlik	Mavjud	Mavjud	Yo'q
EMC: avlod elektromagnit radiatsiya	Mavjud	Ba'zigacha daraja	Yo'q

Izohlar. BER - OTUT odatda $BER = 1 \times 10^{-12}$ uchun mo'ljallangan. OTUT signal yo'qolishi yoki dispersiya bilan chegaralanadi. Radio tizimlari va simsiz uzatish tizimlari dispersiya cheklovlariga ega bo'lishi mumkin. Biroq, kosmik xilma-xillik va oraliq chastota (IF) signalining avtomatik tenglashtirilishi dispersiya bilan kurashishga imkon beradi. Ushbu zararli ta'sirlar shunga o'xshash natijani keltirib chiqaradi, ya'ni noto'g'ri ishlashga yoki jiddiy yomonlashishiga olib keladigan belgilar orasidagi buzilish. Simli tizimlarda signalni yo'qotish chegaralari mavjud. Ishonchsizlik.

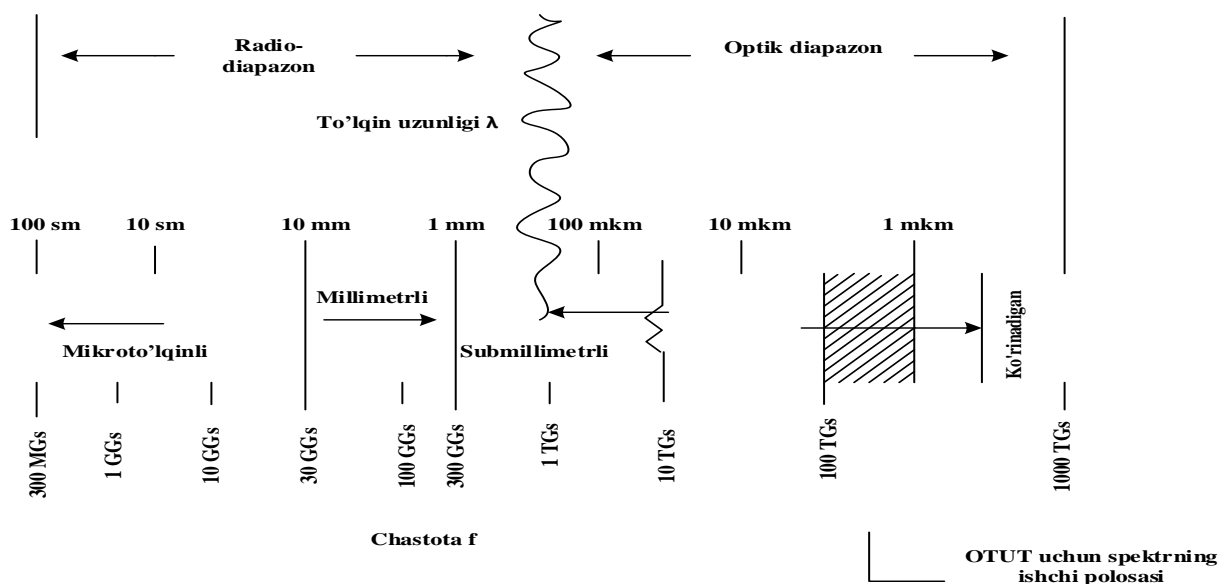
Simli tizimlar va OTUT kabelning tasodifiy yoki qasddan uzilishidan yomon himoyalangan. Ularning ikkalasi ham atrof-muhit

ta'siridan, masalan, suv yoki sovuqdan zarar ko'radi. OTUTning asosiy kamchiliklari ularning ishonchsizligidir. Biz bunday ishonchsizlik ta'sirini qanday yengillashtirishni muhokama qilamiz, ammo uni butunlay yo'q qilib bo'lmaydi. Yomg'ir yo'qotish. Radio tizimlari va simsiz tizimlarda keng foydalanish mumkin bo'lgan tarmoqli kengligi 10 gigagertsdan yuqori chastotalarda erishiladi, bu esa yomg'ir tufayli signalning yutilish yo'qolishi natijasida kelib chiqqan uzatish liniyasi uzunligining qisqarishiga olib keladi; chastota qanchalik baland bo'lsa, mavjudlik (ya'ni, ishonchli tarqalish) vaqtini cheklash shunchalik katta bo'ladi. Albatta, simli tizimlar va OTUT uchun mavjudlik vaqti bundan aziyat chekmaydi. Bu ko'rsatkich ikki jihatga ega: radiatsiyaga sezgirlik va radiatsiya hosil bo'lishi. Radiatsiyaning paydo bo'lishi tizimning elektromagnit parazit manbai bo'lishi mumkinligini anglatadi. Radiatsiyaga nisbatan sezgirlik elektromagnit parazitlarga ta'sir qilishni aniq ko'rsatadi. Radio tizimlar uchun radiatsiya hosil bo'lishi va radiatsiyaga sezgirlik sodir bo'ladi, ko'pincha ikkala hodisa ham muammolarga olib keladi. Simli tizimlar elektromagnit nurlanishga ham sezgir. OTUT, aksincha, nurlanmaydi va elektromagnit parazitlarga sezgir emas (1.2).

Biz yorug'lik radiochastota spektrining yuqori chastotali uchidagi kengaytmasi deb faraz qilamiz. Uzluksiz spektrning bu kontseptsiyasi 3.2 - rasmda ko'rsatilgan. To'liq uzunligi odatda λ bilan belgilanadi. Bu uzunlik bo'lgani uchun uning asosiy o'lchov birligi metrdir. Biz an'anaviy formuladan foydalanib, chastotani gertsda va to'liq uzunligini metrda (m) bog'lashimiz mumkin

$$310F\lambda = \times \text{ m/s (yorug'likning vakuumdagi tezligi) (1.1)}$$

Demak, F gertsda, λ esa metrda.



3.2-rasm. OTUT ish maydonining holatini ko'rsatadigan 300 MGts dan yuqori chastota spektri.

Misollar. Aytaylik, sizning sevimli FM stansiyangiz musiqani 104 MGts chastotada eshittiradi. Uning ekvivalent to'liqin uzunligi qancha?

$$104 \times 10^6 \lambda = 3 \times 10^8$$

$$\lambda = 3 \times 10^8 / 104 \times 10^6 = 2,8846 \text{ m.}$$

Optik tolalardagi ish to'liqin uzunliklari odatda nanometrlarda (nm) berilgan. 1 nanometr: $1 \text{ nm} = 1 \times 10^{-9} \text{ m}$, yoki 0,000000001 m.

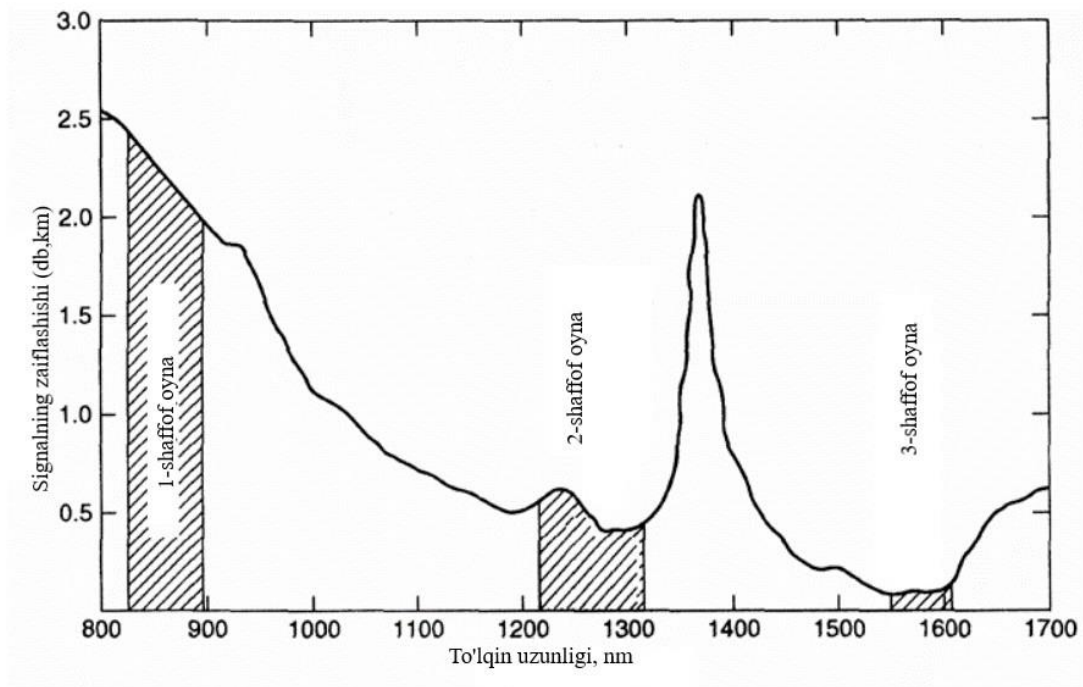
OTUTda keng qo'llaniladigan to'liqin uzunliklaridan biri 1310 nm. Uning ekvivalent chastotasi qanday?

$$1310 \times 10^9 \times 10^{-9} F = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$F = 3 \times 10^8 / 1310 \times 10^{-9} = 2,29 \times 10^{14} \text{ Gs,}$$

yoki $2,29 \times 10^5 \text{ ГГц}$, yoki 229 TGs.

To'liqin uzunliklarini amaliy maqsadlarda chastotaga o'tkazishda, masalan, WDM tizimlarida, yorug'lik tezligini aniqroq baholash odatda qo'llaniladi - 2,99792458, natijada biz 1 gigagertsli aniqlik bilan 228,849 THz chastotani olamiz.



3.3-rasm. To‘lqin uzunligiga nisbatan optik tolali zaiflashuv (OTUT uchun ishlatiladigan uchta shaffof ko‘zgu ko‘rsatilgan).

3.3-rasmda shaffoflikning uchta asosiy ko‘zgasini ko‘rsatadi, ular OTUT uchun ishlaydigan to‘lqin uzunligi diapazonlari. Bu

- 820-900 nm;
- 1280-1350 nm;
- 1528-1561 nm.

Bundan tashqari, oxirgi ko‘zguni 1620 nm gacha kengaytirish mumkin (Bu mintaqa odatda shaffoflikning to‘rtinchi ko‘zgasini deb ataladi). Agar oxirgi ko‘zguna va uning kengayishiga mos keladigan chastotalarni taxmin qilsak, (3.1) tenglamadan foydalanib, biz mos ravishda 1528 va 1620 nm uchun F_1 va F_2 ni olishimiz mumkin.:

$$F_1 = 3 \times 10^8 / 1528 \times 10^{-9} = 1,96 \times 10^{14} = 196 \text{ TGs}$$

$$F_2 = 3 \times 10^8 / 1620 \times 10^{-9} = 1,85 \times 10^{14} = 185 \text{ TGs}$$

F_1 dan F_2 ni ayirish orqali biz ushbu ko‘zgularning foydali ish o‘tkazish qobiliyati 11 TGs yoki 11000 GGts ekanligini bilib olamiz. Ushbu tarmoqli kengligi spektrning radiochastota qismida ishlatilishi mumkin bo‘lganidan 110 baravar ko‘p [1.1].

Bitta chiqarilgan yorug'lik impulsining foydali tarmoqli kengligi ko'rib chiqilayotgan optik tolaning (OT) impuls uzatish funksiyasi bilan belgilanadi. Bunday uzatish funksiyasining matematik hosilasi juda murakkab va jiddiy bo'lib, bizning kitobimiz doirasidan tashqarida. Ammo biz uni sxematik tarzda taqdim etishga harakat qilamiz. Bo OT ning tarmoqli kengligi, Bc esa aniqlangandan keyin olingan natijaviy elektr signalining tarmoqli kengligi bo'lsin. Tolaning optik tarmoqli kengligi ushbu tolaning impuls uzatish funksiyasi bilan aniqlanishini hisobga olsak, -3 dB (quvvatda) da o'lchangan optik tarmoqli kengligi B_o metrik - To'liq tarmoqli kengligi yarim maksimal (FWHM) yordamida baholanishini ko'rsatish mumkin), formula turi

$$B_o = \frac{441}{FWHM}, \quad (3.2)$$

(3.2) funksiya Gauss egri chizig'i ko'rinishiga ega deb faraz qilsak, B_o MGts da, FWHM esa ns da o'lchanadi.

Bundan tashqari, t ko'tarilish vaqtini Rasm formulasi yordamida B_o bo'yicha baholash mumkinligini ko'rsatish mumkin.

$$t = \frac{315}{B_o}, \quad (3.3)$$

Optik tarmoqli kengligi -3 dB quvvatda o'lchangan radio signalining tarmoqli kengligi bilan bir xil tarzda aniqlanadi. Bu to'g'ridan-to'g'ri optik detektordagi oqim bilan bog'liq bo'lishi mumkin. Shunday qilib, bunday detektorda ishlab chiqarilgan elektr quvvati I_2 ga mutanosib ekanligi ma'lum, shuning uchun -3 dB optik quvvat darajasi (I oqimning 50% ga qisqarishiga mos keladigan daraja sifatida aniqlanadi) -6 darajasiga olib keladi. dB elektr quvvati (I_2 oqimining 75% pasayishiga mos keladigan daraja sifatida aniqlanadi). Shunday qilib, optik tarmoqli kengligi -3 dB darajasi elektr tarmoqli kengligi -6 dB darajasiga teng. Bu ishlatilmaydi va kelajakda aniqlanmaydi. Biroq, shundan kelib chiqadiki, -3 dB da elektr tarmoqli kengligi bir xil -3 dB da optik tarmoqli kengligidan kichikroq bo'lishi kerak. Va bu masalaning matematik tomoni

unchalik oddiy bo‘lmasa ham, agar funktsiya Gauss egri chizig‘iga ega bo‘lsa, unda

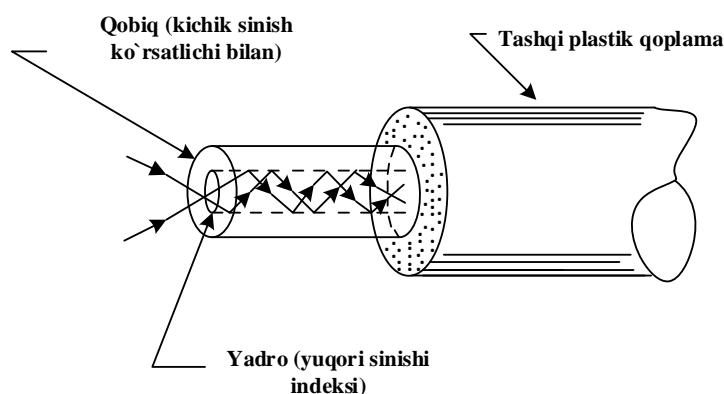
$$B_c = \frac{B_0}{\sqrt{2}} = 0,707B_0, \quad (3.4)$$

3.3 - rasmda o‘quvchi taxminan 1400 nm (aslida 1383 nm) da joylashgan "suv" yorug‘lik yutilish cho‘qqisiga e‘tibor berishi kerak. "Suv" tolada aralashmalar mavjudligi bilan tavsiflanadi, ammo biz ko‘rsatgan assimilyatsiya cho‘qqisi aslida OH-radikallarning mavjudligi bilan bog‘liq. Buning natijasi 1400 nm atrofida yuqori darajadagi yutilishdir (3.3).

3.3. Uzatish muhitining optik-tolali yorug‘lik o‘tkazgichi

3.3.1. Yorug‘lik konstruksiyasi

OB yadrosini optik yorug‘lik qo‘llanmasi deb atash mumkin. Taxmin qilish mumkinki, bu atama radio operatorlaridan shunga o‘xshash tushuncha - to‘lqin qo‘llanmasidan foydalangan holda olingan. 3.4-rasmda tolaning yadrosi va uning tarkibiy qismlarini ko‘rsatadi. Albatta, uning surati bir qator nuqtalarga e‘tibor qaratish uchun sezilarli darajada kattalashtirilgan va eskirgan. Bu OBning yadrosi ichki yadro va uni o‘rab turgan qobiqdan iborat ekanligini ko‘rsatadi. Har qanday qo‘shimcha qoplamalar (qobiqlar) himoya hisoblanadi. 3.4-rasmda tashqi plastik qopqoqni ko‘rsatadi.



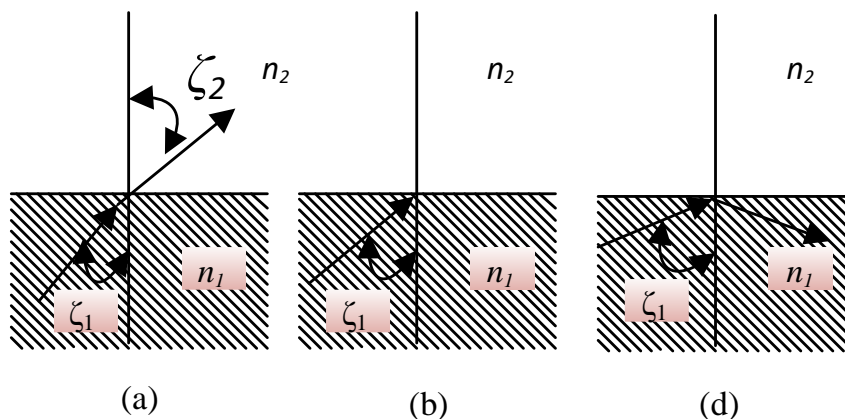
3.4- rasm. Optik tolaning asosiy tuzilishi

Odatda, yadroning sinishi ko'rsatkichi n_1 , qoplamaning sinishi ko'rsatkichi esa n_2 deb ataladi. Bu muhim parametrlar va biz ularni quyida ko'rib chiqamiz. Agar OB zanjiri $n_1 > n_2$ bo'ladigan tarzda tuzilgan bo'lsa, yadro-qopqoq strukturasi o'zini to'lqin o'tkazgich kabi tutadi. Kvars shishasi (SiO_2) ham yadro, ham qoplama uchun asosiy materialdir. Bor yoki germaniy kabi dopantlar kerakli sinishi indeks qiymatlarini sozlash uchun ishlatiladi.

Fizikadan ma'lumki, muhitning sindirish ko'rsatkichi vacuum-dagi yorug'lik tezligini ma'lum muhitdagi yorug'lik tezligiga bo'linadi. Ta'rifga ko'ra, vakuumning sinishi ko'rsatkichi 1 ga teng.

3.3.2. Optik tolali yorug'lik qo'llanmasi orqali yorug'lik qanday tarqalashi

Yorug'likning optik tola orqali qanday tarqalishini geometrik optika qonunlari va Snell qonuni yordamida eng yaxshi tushuntirish mumkin. Soddalashtirilgan holda shuni aytishimiz mumkinki, yorug'lik yuqori sinishi indeksiga ega bo'lgan muhitdan pastroq sinishi ko'rsatkichiga ega bo'lgan muhitga o'tganda, singan nur odatdagidan chetga chiqadi. Bu, masalan, suvdan keladigan nur havoga kirganda, ikkita vosita orasidagi interfeysdagi oddiy nurdan chetga chiqqanda sodir bo'ladi. Interfeysga tushish burchagi qanchalik katta bo'lsa, singan nur normal nurdan shunchalik ko'p chetga chiqadi, toki singan nur normalga nisbatan 90° burchakka yetib, interfeys ustida sirpanib keta boshlaydi. 3.5-rasmda turli xil tushish burchaklaridagi rasm ko'rsatilgan. 3.5 (a)-rasmda singan nurning to'liq bo'sh bo'shliqqa tushish burchagini ko'rsatadi. 3.5 (b)-rasmda singan nur interfeys bo'ylab siljiy boshlaganda tanqidiy deb ataladigan bunday tushish burchagini ko'rsatadi. 3.5(d) - rasmda umumiy ichki aks ettirish (TIR) holatini ko'rsatadi. Bu tushish burchagi kritikdan oshib ketganda sodir bo'ladi. Yorug'lik o'tkazish uchun ishlatiladigan shisha optik tolalar umumiy ichki aks ettirishdan foydalanishni talab qiladi.



3.5-rasm. Bir nechta tushish burchagi uchun nur yo'li, $n_1 > n_2$, bu erda n_1 va n_2 ikki xil muhitning sinishi ko'rsatkichlari

OT ning ma'lum bir to'lqin uzunligiga xos bo'lgan yana bir xususiyati – bu normallashtirilgan chastota V :

$$V = \frac{2\pi a}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \approx n_1 \sqrt{2\Delta}, \quad (3.5)$$

bu yerda a – yadro radiusi, n_2 g'ilofsiz OT uchun $= 1$, $\Delta = \frac{(n_1 - n_2)}{n_1}$

(3.5) tenglamadagi $\sqrt{n_1^2 - n_2^2}$ atamasi raqamli apertura (RA) deb ataladi. Asosan, raqamli diafragma tolaning yorug'lik to'plash qobiliyatini tavsiflash uchun ishlatiladi. Aslida, optik tola tomonidan qabul qilingan optik quvvat miqdori RA kvadratiga mutanosib ravishda o'zgaradi. Shunisi qiziqki, optik tolaning raqamli teshigi uning fizik o'lchamlariga bog'liq emas.

Raqamli diafragmani yaxshiroq tushunish uchun 3.6 rasmga qarang., bu tola tomonidan qabul qilingan yorug'lik konusini tasvirlaydi. Ushbu rasm ostidagi formulada ko'rsatilganidek, bu konusning burchagi $\sin \alpha_A = RA$ bilan berilgan. RA bilan raqamli ifodalangan tolaning yorug'lik yig'ish qobiliyati tushunchasi ushbu qabul qiluvchi konus tomonidan yaxshi tasvirlangan.

3.1-rasmda ko'rsatilganidek, OTUTning uchta asosiy elementi mavjud: manba, optik tolali aloqa (OTKL) va optik detektor. OTKLga kelsak, uning uzunligini takrorlovchilardan foydalanmasdan cheklay-

digan ikkita asosiy parametr yoki ikkita takrorlagich orasidagi uchastkaning uzunligi mavjud. Bu eng muhim parametrlar odatda dB/km da ifodalangan yo‘qotish va ko‘pincha ekvivalent tarmoqli kengligi uzunligi (bog‘lanish) mahsuloti-MHz·km sifatida ifodalanadigan dispersiyadir. (Ushbu mahsulot odatda tarmoqli kengligi omili deb ataladi va faqat ko‘pmodli optik tolalar yoki OTKlar uchun metrik sifatida ishlatiladi.) Chiziq uzunligi quvvat (quvvat byudjeti) bilan cheklanishi mumkin, ya’ni. yo‘qotish bilan cheklangan bo‘lishi mumkin yoki dispersiya bilan cheklangan bo‘lishi mumkin (kümülatif dispersiya).

Dispersiya, o‘zini eng oxirida ramzlararo interferensiya sifatida namoyon qiladi, ikki omil tufayli yuzaga keladi. Biri moddiy dispersiya, ikkinchisi modal dispersiya. Materialning tarqalishi materialning sinishi indeksining chastota bilan o‘zgarishi natijasida yuzaga keladi. Modning tarqalishi optik tolali to‘lqin qo‘llanmasi bir nechta modlarni qo‘llab-quvvatlaganida sodir bo‘ladi. Bunday holda, turli modlar turli xil faza va guruh tezligiga ega va ularning energiya maksimumlari turli vaqtlarda detektorga yetib boradi. Ko‘pgina optik manbalarda ko‘plab modlar qo‘zg‘atilganligini hisobga olsak, ular turli xil kechikishlar bilan optik tolali to‘lqin o‘tkazgich orqali tarqalib, buzilishlarga (dispersiyaga) olib keladi deb taxmin qilish mumkin. Buzilish darajasi ma’lum bir vaqtning o‘zida detektorning kirishiga turli modlarning energiyasi qancha yetib borishiga bog‘liq.

Tolada tarqaladigan modlar sonini kamaytirishning bir usuli to‘lqin o‘tkazgichning dizayni yoki o‘lchamlarini o‘zgartirishdir. Yana (3.4) tenglamaga qaytsak, shuni ko‘rish mumkinki, tolada tarqaladigan modlar sonini radiusni biroz qisqartirish orqali $\frac{n_1}{n_2}$ nisbatini imkon qadar kichik, masalan, 1,01 yoki undan kamroq ushlab turish orqali cheklash mumkin.

Biz (3.5) formuladan foydalanib, tola qo‘llab-quvvatlaydigan N rejimlar sonini taxmin qilishimiz mumkin. Agar $V = 2.405$ bo‘lsa, u holda faqat bitta rejim (HE₁₁) tarqaladi. Nisbatan ko‘p sonli tarqalish usullari uchun quyidagi taxminni olish mumkin:

$$N = \frac{V^2}{2}. \quad (3.5)$$

4-BOB OPTIK TOLALI KABEL

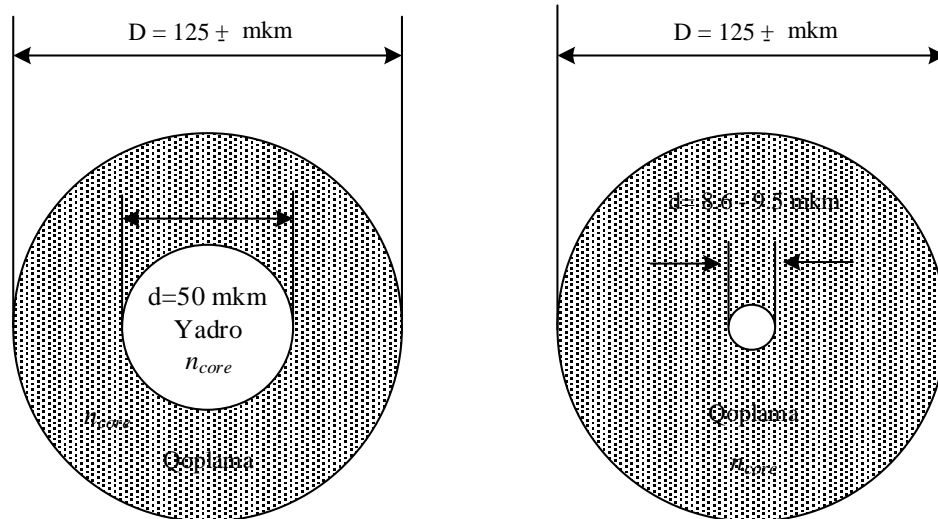
4.1. Optik tolalar turlari

Optik tolaning (OT) uchta asosiy turi mavjud bo‘lib, ular modlar soni va ularning fizik xususiyatlarida farqlanadi (bu turlarning ikkitasi bor deb hisoblanadi: bir modli va ko‘p modli):

- bir modli tola;
- pog‘onali sindirish ko‘rsatkichi profiliga ega ko‘pmodli tola;
- sinishi indeksining gradiyent profiliga ega ko‘pmodli tola.

4.1.1. Yadro diametrini aniqlash

4.1-rasmda Ko‘p modli (chapda) va bir modli (o‘ngda) tolalar bo‘limlarini grafik tarzda ko‘rsatadi. Ushbu raqamlarda multimod va bir modli tolalar yadrolarining qiyosiy o‘lchamlari muhim ahamiyatga ega.



Ko'p modli tolalar - bir vaqtning o'zida ko'p turdagi tebranishlar (modlar) tarqalishi mumkin

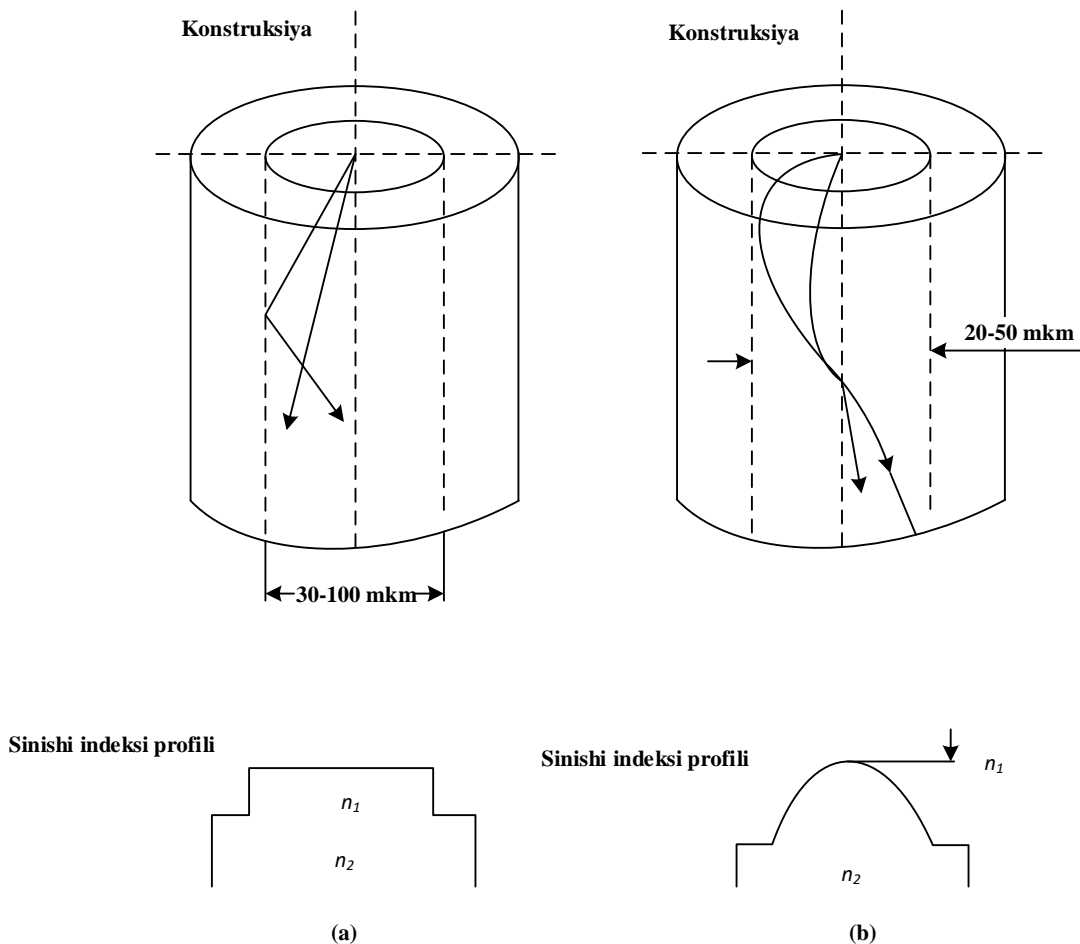
Yagona modli tola - past nisbat (D/d) tufayli bir rejim bir vaqtning o'zida tarqaladi.

4.1-rasm. Ko‘p modli (chapda) va bir modli (o‘ngda) tolalarning ko‘ndalang kesimi

E'tibor bering, ikkala turdagi tolaning tashqi diametri bir xil va nominal 125 mkm. Biroq, yadro diametrlarida katta farq bor. Ko'p modli tolalar uchun 50 mkm va bir modli tolalar uchun 8,6-9,5 mkm. Amalda, Ko'p modli tolaning diametrlari uchun boshqa qiymatlar mavjud, ulardan eng ko'p ishlatiladigani 62,5 mikron.

4.1.2. Uch turdagi optik tolalar

4.2-rasmda dizayn va sinishi indeksi profillari ko'rsatilgan: Ko'p modli tolalar uchun pog'onali (4.2 (a)-rasm) va gradient (4.2 (b)-rasm). Sindirish ko'rsatkichining pog'onali profili interfeysdagi sinishi ko'rsatkichining (n_1 dan n_2 gacha) keskin o'zgarishi bilan, gradient profili esa silliq o'zgarish bilan tavsiflanadi.



4.2-rasm. Dizayn va sinishi indeksi profillari. Ko'p modli tolalar uchun bosqichli (a) va gradient (b).

Ko‘p modli pog‘onali indeksli tola gradusli tolaga qaraganda ancha tejamkor. Bosqichli Ko‘p modli tolalar uchun yuqorida ko‘rib chiqilgan xarakteristikasi keng polosali nisbati 10-100 MGts·km tartibida, agar takrorlagichlar 10 km masofada joylashgan bo‘lsa, 1-10 MGts tarmoqli kengligi uzatilishi mumkin.

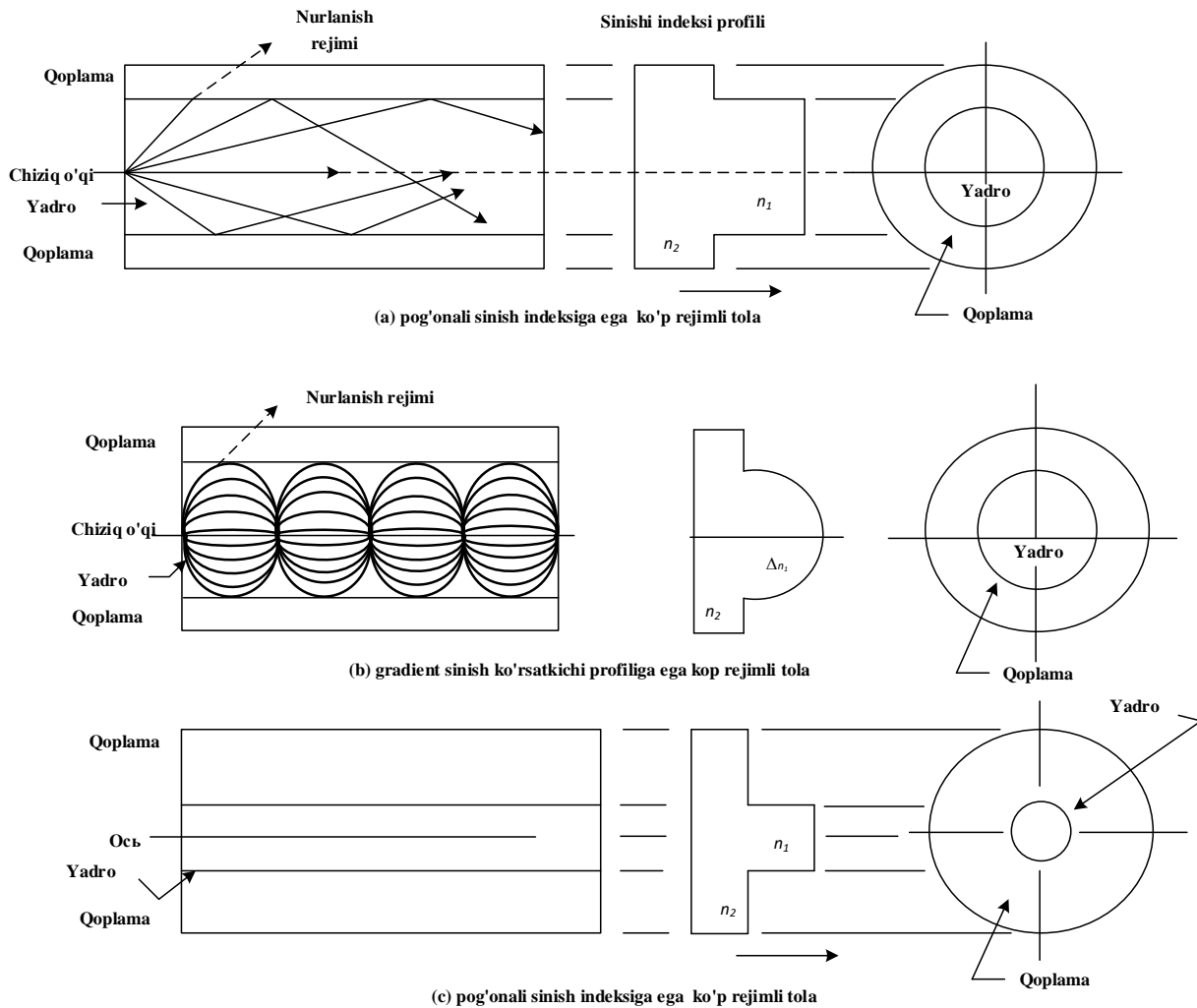
Baholangan sinishi indeksi profili Ko‘p modli tolani pog‘onali profilga qaraganda ancha qimmatroq qiladi, lekin yaxshi o‘tkazish qobiliyatiga imkon beradi. Shunday qilib, agar yorug‘lik manbai sifatida lazer diodi ishlatilsa, u holda keng polosali koeffitsientni 400-1000 MHz·km gacha oshirish mumkin. Biroq, agar YChD (LED) sezilarli darajada kengroq emissiya spektriga ega bo‘lgan manba sifatida ishlatilsa, u holda bir xil gradient tolasi bilan 300 MGts km yoki undan yuqori darajadagi keng polosali koeffitsiyentni kutish mumkin. Bu holatda asosiy cheklovchi omil materialning tarqalishidir.

4.3-rasmda kvarts shishasiga asoslangan ushbu uch turdagi optik tolalar uchun sinishi indeksining profillari va mod tarqalishining tabiati ko‘rsatilgan.

Yagona modli tola shunday yaratilganki, u orqali faqat bitta mod tarqala oladi. Buning yordamida $V < 2.405$ (1.5 formulaga qarang). Bunday tolada modal dispersiya mavjud emas, chunki faqat bitta mod tarqaladi. Odatda, biz sinishi ko‘rsatkichlari $n_1 = 1,48$ va $n_2 = 1,46$ bo‘lgan tolalarni uchratishimiz mumkin. Agar optik yorug‘lik manbasining to‘lqin uzunligi 820 nm bo‘lsa, bir modli operatsiyani amalga oshirish uchun 2,6 mkm tola kerak bo‘ladi, bu, albatta, zamonaviy tizimlar uchun kichikdir. 4.3 (d) - rasmda bir modli tolaning sinishi ko‘rsatkichi profilini ko‘rsatadi. Ushbu tola turi tasvirlangan uchta tolalar orasida ancha yaxshi tarmoqli kengligi nisbatlarini namoyish etadi.

3-bobda allaqachon aytib o‘tilganidek, raqamli apertura (RA) tola yadrosining yorug‘lik yig‘ish qobiliyatining o‘lchovidir. 4.1-rasmda shuni ko‘rsatadiki, ko‘p modli tolaning diametri ancha katta bo‘lsa, RA katta raqamli teshiklarga olib keladi (0,22 ga teng), bir modli tolaning diametri ancha kichik bo‘lsa, manbadan yorug‘lik to‘planishiga putur etkazadi.

Bunday holda, raqamli apertura faqat 0,11 ni tashkil qiladi.

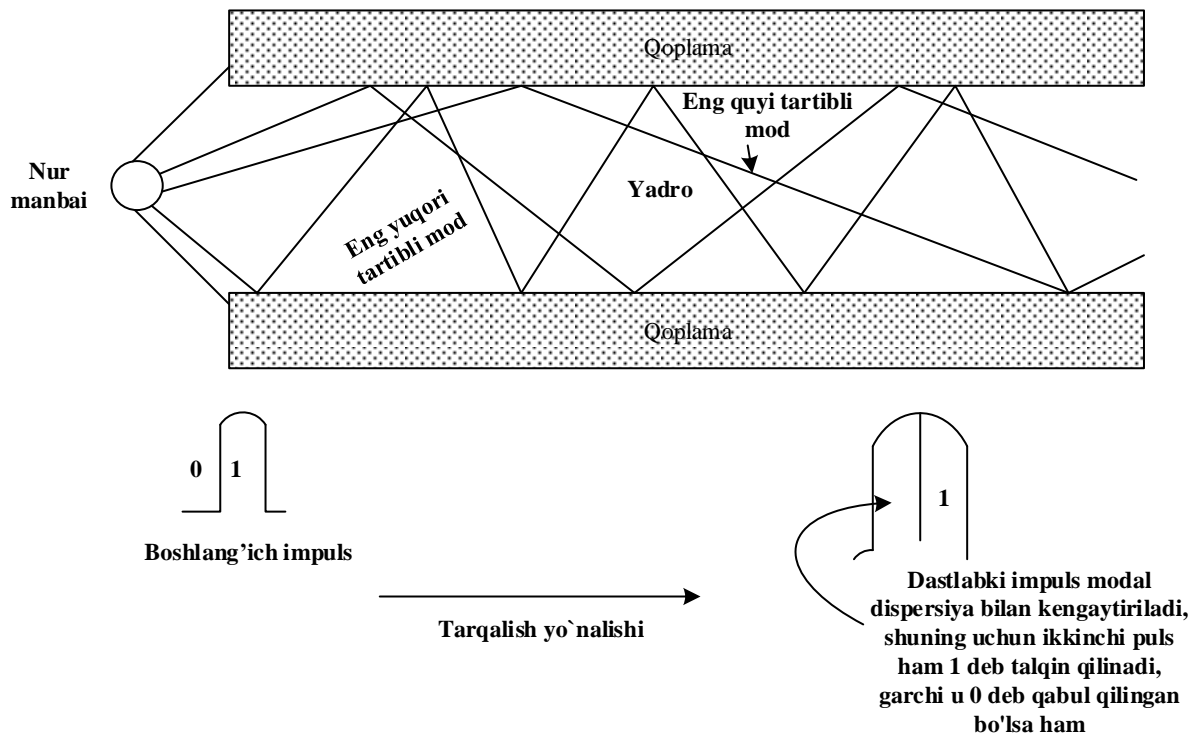


4.3-rasm. Uch turdagi optik tolalarda tarqaladigan sinishi ko'rsatkichlari va modlari profillari.

4.2. Optik tola orqali turli xil modlarning tarqalishi

Ko'p modli tola, nisbatan katta yadroga ega bo'lib, bir nechta yoki ko'p modlarning tola orqali tarqalishiga imkon beradi. Ushbu modlarning ba'zilar qisqa masofalar uchun tolada tarqalishi va keyin yo'qolishi mumkin; boshqalar tolaning butun uzunligi bo'ylab cho'zilishi mumkin. Ko'p modli tarqalish xarakteri 4.4.-rasmda ko'rsatilgan. Asosiy muammo, bu modlar masofaviy qabul qiluvchiga etib kelganida paydo bo'ladi. Tola bo'ylab bir oz masofani bosib o'tgan pulsni ko'rib chiqing. Bu impuls bir nechta modlarning yorug'lik energiyasini olib yuradi. Eng past buyurtma modi qabul qiluvchiga tezroq etib boradi. Qolgan modlar kechikish tufayli

keyinroq hissa qo'shadi. Uzoqroq tarqaladigan komponentlardan tashkil topgan kelgan impuls, 4.4 - rasmda ko'rsatilganidek, eng past tartibli moddan tashkil topgan birinchi kelgan impulsning kengayishiga olib keladi.



4.4-rasm. Ko'p modli tola (yoki OT) segmentining qabul qiluvchi konusdagi yorug'lik manbasining zarbasi bilan ideallashtirilgan naqsh, uchta yorug'lik modining tarqalishini ko'rsatadi. Eng past tartibli modda rasmda faqat ikkita aks bor, eng yuqori tartibli modda esa bir xil tolalar segmentida yettita aks bor. Natijada, eng yuqori tartibli modning energiyasi eng past tartibli modning energiyasidan orqada qoladi.

Muammoning mohiyati shundan iboratki, bu impulslarning har biri yoki uning yo'qligi ikkilik 1 va 0 ni ifodalaydi. Impuls borligi 1 ga, uning yo'qligi 0 ga to'g'ri kelsin. Va 10 ko'rinishdagi ketma-ketlikni uzatamiz. Ikkilik 1 ning dispersiya bilan kengaytirilgan zarbasi (4.4 - rasmda ko'rsatilganidek, pastki o'ngda) qo'shni bit pozitsiyasini ham egallaydi, bu dastlab ikkilik 0 bo'lishi kerak. Odatda bit xatosi yuzaga keladi. Ushbu soddalashtirilgan tavsif ISI ni keltirib chiqaradigan dispersiyaning zararli ta'sirini ko'rsatadi.

Bunday sharoitda, uzatish tezligi oshishi bilan, impuls kengligi kichikroq bo‘lganda va dispersiyaning ta’siri tobora ko‘proq halokatli bo‘lib, uzatish liniyasidagi WEC xatolarining darajasi shunday qiymatlarga yetadiki, bu butunlay qabul qilinishi mumkin emas.

Ushbu vaziyatni yumshatish yoki hal qilish mumkin:

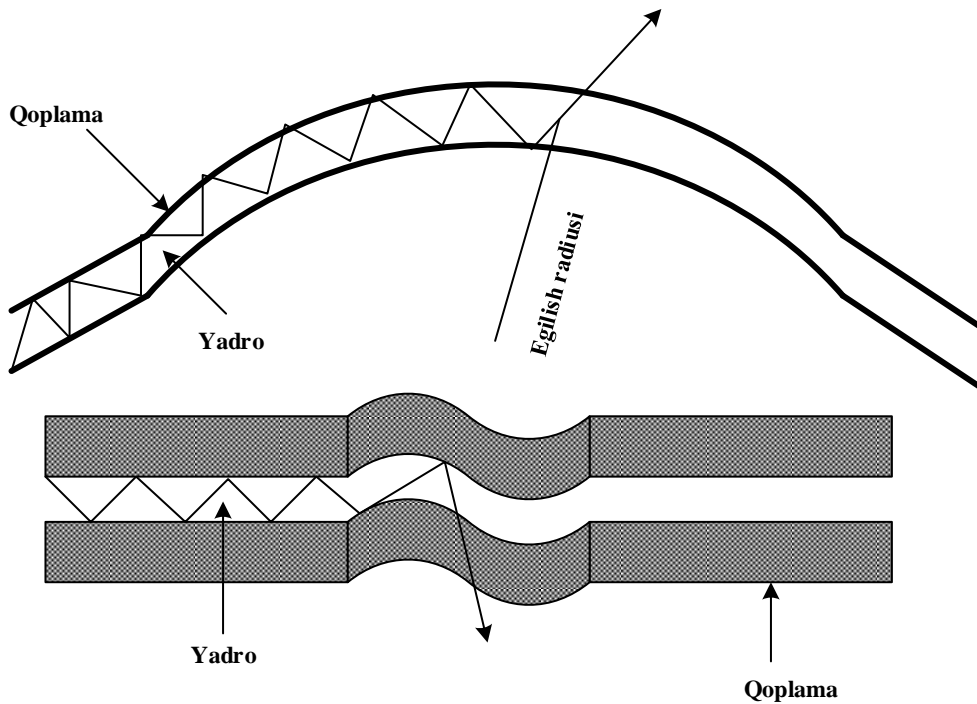
- uzatish liniyasining uzunligini qisqartirish (muammoni yumshatish);
- uzatish tezligini kamaytirish (muammoni yumshatish yoki bartaraf etish);
- bir modli toladan foydalanish (modal dispersiyani yo‘q qilish) (4.1, 4.2).

4.3. Mikroegilishlar va makroegilishlar

Mikroegilishlar tolalar nuqsonlari tufayli yuzaga keladi. Ular kabel yo‘qotishlarining ko‘payishiga olib keladi. Bu yo‘qotishlar juda katta bo‘lishi mumkin va ba’zi hollarda hatto 100 dB/km dan oshib ketishi mumkin (4.1). Ushbu yo‘qotishlarning paydo bo‘lishining asosiy sababi kabel ishlab chiqarish jarayonida yotadi. Bu kabel ishlab chiqarish jarayonida tolalar yetarli darajada silliq bo‘lmagan tashqi qoplamalar bilan siqib chiqarilganda muqarrar ravishda yuzaga keladigan eksenel buzilishlar bilan bog‘liq. Microbending yo‘qolishi mod maydonining diametri, kabel dizayni va ishlashining funktsiyasidir. Mikroegilish tufayli zaiflashuvning yo‘qolishi mod maydonining diametri bilan kamayadi.

Makroegilishlar muayyan kichik radius bilan korrelyatsiya. Kabel ishlab chiqaruvchisi spetsifikatsiyada minimal egilish radiusini ko‘rsatishi kerak. Kabel g‘altakga o‘ralgan bo‘lsa, u tabiiy ravishda g‘altakning radiusi bo‘ylab egiladi. Agar u yotqizilgan bo‘lsa, xususan, binolarda u burchaklarda egilishi mumkin. O‘rnatuvchi burchaklardan qochish uchun egilish radiusini ruxsat etilgan minimal darajadan pastga tushirmasligi kerak. Odatda OTK egilish radiusi kabeldagi tolalar soniga qarab 10 dan 30 sm gacha bo‘lishi kerak deb taxmin qilinadi. OTKni egilish radiusi chegaralarida ruxsat etilganidan ko‘proq egilish kabelga zarar yetkazishi, hatto kabeldagi tolalarni buzishi mumkin. Bundan tashqari, tolaning susayishi

sezilarli darajada oshishiga olib kelishi mumkin (4.3, 4.4). 4.5 - rasmda *Makroegilishlar* va *mikroegilishlar* o'rtasidagi farqlarni ko'rsatadi.



4.5-rasm. Makroegilishlar (*chapda*) va mikroegilishlar (*o'ngda*) tasvirlangan rasm.

4.4. Kabel konstruksiyasi

4.4.1. Optik tola diametri

OTUT dizaynerlari va o'rnatuvchilari ko'pincha "yadro/qobiq" nuqtai nazaridan kabel o'lchamiga murojaat qilishadi. Masalan, kabel 50/125 sifatida ko'rsatilishi mumkin, ya'ni yadro diametri 50 mkm va g'ilof diametri 125 mkm. Bunday holda, biz ushbu tolaning yadro diametri tufayli multimod sinfiga tegishli ekanligini darhol aytishimiz mumkin. Agar u bir modli tola bo'lsa, u holda uning yadro diametri 7-10 mikron bo'ladi.

Qobiqning tashqi yuzasi maxsus qoplamaga ega, uning tashqi diametri 250-500 mikron. 4.1-jadvalda eng keng tarqalgan OT turlarining asosiy fizik o'lchamlarini ko'rsatadi. Oxirgi ustundagi 900

mkm qiymati qattiq bufer qobig‘idan foydalanishni ko‘rsatadi, 2000-3000 *mkm* qiymatlari esa bo‘shashgan bufer qobig‘iga to‘g‘ri keladi.

4.1 - jadval

Optik tolaning asosiy o‘lchamlari (*mkm*)

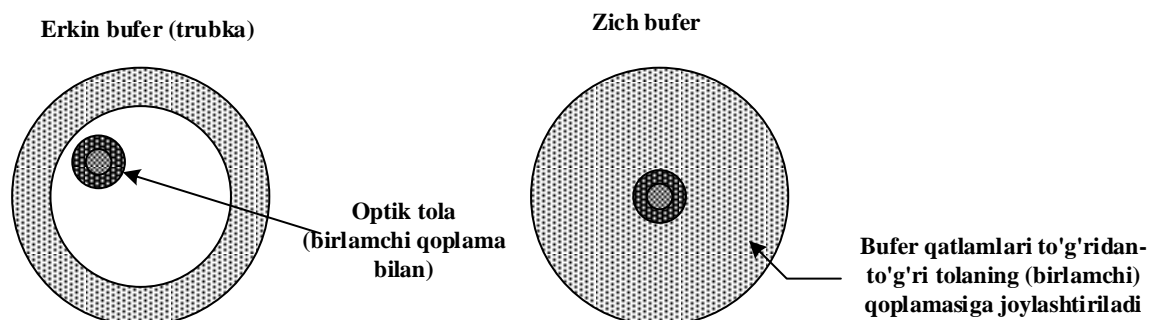
Turi	Yadro	Qobiq	Qoplama	Bufer yoki naycha
I	7-10	125	250 yoki 500	900 yoki 2000-3000
II	50	125	250 yoki 500	900 yoki 2000-3000
III	62.5	125	250 yoki 500	900 yoki 2000-3000
IV	85	125	250 yoki 500	900 yoki 2000-3000
V	100	140	250 yoki 500	900 yoki 2000-3000

Izohlar. *I* turdagi tolalar bir modli tolaga mos keladi. *II* turdagi tolalar *III*, *IV*, *V* tipdagi kabi ko‘pmodli tolaga to‘g‘ri keladi. *IV* turdagi tolalar, 85/125, Shimoliy Amerikaga qaraganda Yevropada ko‘proq mashhur. *V* tipdagi tola, 100/140, eng katta raqamli diafragma ega va katta yadrosi tufayli eng ko‘p yorug‘likni ushlaydi. Uning potensial chiziq kengligi boshqalarga qaraganda kichikroq va kichik va o‘rta masofalarni qoplash uchun ishlatiladi. Uning o‘lchamini hisobga olgan holda, uni o‘rnatish oson, ayniqsa, payvandlashdan ko‘ra optik ulagichlar ishlatilsa. Uni binolarda topish mumkin. (Mamlakatimizda *IV* va *V* turdagi tolalar mumkin va ular maxsus maqsadlarda qo‘llaniladi, ammo ular amalda nafaqat global, balki mahalliy tarmoqlarda ham qo‘llanilmaydi).

4.4.2. Qattiq tampon qoplamasi yoki bo‘shashgan tampon trubkasi

Buferlash tolani tashqi ta’sirlardan ajratish imkonini beradi. Amalda buferlashning ikki turi qo‘llaniladi: 4.6 - rasmda ko‘rsatilganidek, bo‘sh bufer va qattiq bufer.

Bo‘shashgan tampon konstruksiyasida tola 4.1-jadvalda ko‘rsatilganidek, ichki diametri tolaning tashqi diametridan ancha katta bo‘lgan plastik naychaga joylashtiriladi. Plastik trubaning ichki yuzasi odatda jel moyi bilan qoplangan.



4.6-rasm. Bo‘shashgan va zich tolalarni buferlashning oddiy misollari.

Bo‘shashgan tampon tolni kabelga qo‘llaniladigan tashqi mexanik kuchlardan ajratib turadi. Ko‘p tolalarni o‘z ichiga olgan kabellar uchun bu quvurlarning bir qismi tolalarni stresssiz saqlash uchun kabel konstruksiyalari bilan birlashtiriladi.

Kabel ishlab chiqarishda qattiq buferlash birlamchi tolali qoplama ustidagi plastmassaning to‘g‘ridan-to‘g‘ri ekstruziyasi (choksiz qoplama) yordamida amalga oshiriladi. Qattiq tamponlash tolni tashqi ta’sirlardan (va harorat o‘zgarishidan) kamroq izolyatsiya qiladi. Boshqa tomondan, bu tolni yo‘q qilmasdan sezilarli darajada katta fizik ta’sirlarga dosh berishga imkon beradi.

Chiqib ketish kabeli — har bir tolaning qattiq tamponlanishi bilan aramid iplarning mustahkamlovchi ortiqcha oro bermayligi va PVX qobig‘i bo‘lgan simi, unda shu tarzda mustahkamlangan tolalar birlashtirilib, kabel uchun umumiy bo‘lgan qobiq bilan qoplangan. Bunday kabel, har bir tolaning oddiy tugatilishiga imkon berib, kabelni o‘rnatishni soddalashtirish imkonini beradi.

Ochiq o‘rnatish uchun optimallashtirilgan bo‘sh buferli kabel. OTK tarkibidagi asosiy komponentlar kvarts shishasi va polimer plastmassadan iborat. Berilgan harorat oralig‘ida, har bir materialning o‘z kengayish koeffitsiyentiga ega ekanligini hisobga olsak, ushbu materiallarning kengayishi (tezligi / kattaligi) va umuman dizayni boshqacha bo‘ladi. Erkin buferlash yuqoridagi ta’sirlarning ta’sirini susaytirish orqali OT uchun tashqi stresslar yo‘qligi uchun sharoit yaratishga imkon beradi. Bunday kabellarni ishlab chiqaruvchilar, tolalar va bufer trubkasi uzunligining nisbati haroratdan siqilish / cho‘zish sharoitida hech qanday sharoitda tolalar trubaning

devorlari tomonidan siqilmasligi uchun tanlanganligiga ishonch hosil qiladi. Erkin buferlash orqali ta'minlangan stresssiz sharoitlar kabel tizimidagi harakatchanlikni qoplaydi, shunda tolada mexanik stress hosil bo'lmaydi. Bu xususiyat bunday kabellarning ish harorati oralig'ini kengaytiradi.

Boshqa tomondan, zich tamponli kabellar tolalarni tashqi kuchlardan bir xil darajada izolyatsiya qilishga imkon bermaydi; shuning uchun bu dizaynning har qanday tarkibiy qismlariga cho'zish/siqishning termal ta'siri to'g'ridan-to'g'ri tolaga o'tkaziladi. Natijada, zich himoyalangan kabellar bo'shashmasdan buferlangan kabellarga qaraganda harorat o'zgarishiga va mexanik stressga nisbatan sezgirroqdir. Zich himoyalangan OTK dizayni qo'shimcha ravishda olovni kechiktirish talab qilinadigan ichki ilovalar uchun juda mos keladi. Shu ma'noda, zich himoyalangan 900 mkm tola kabel tizimlarida to'g'ridan-to'g'ri chiziqni tugatish uchun juda mos keladi. Biroq, bir xil dizayn xususiyatlari bunday kabellarni tashqi makon uchun mos kelmaydi.

Bo'shashgan buferli kabellarning yana bir xususiyati ularning suvning muzlashi natijasida yuzaga keladigan uzilishlarga bardosh berish qobiliyatidir. Kabelning tashqi qobig'iga kiradigan suv kabelning yadrosida muz kristallarining o'sishiga olib kelishi mumkin. Bu muz ushbu joyning yaqinida kabelda mikro yoriqlar paydo bo'lishiga olib kelishi mumkin, bu esa zaiflashuvning keskin oshishi yoki hatto tolaning to'liq uzilishi tufayli kabelni yaroqsiz holga keltiradi. Shuning uchun suvning kabelga nazoratsiz kirishiga yo'l qo'ymaslik juda muhimdir.

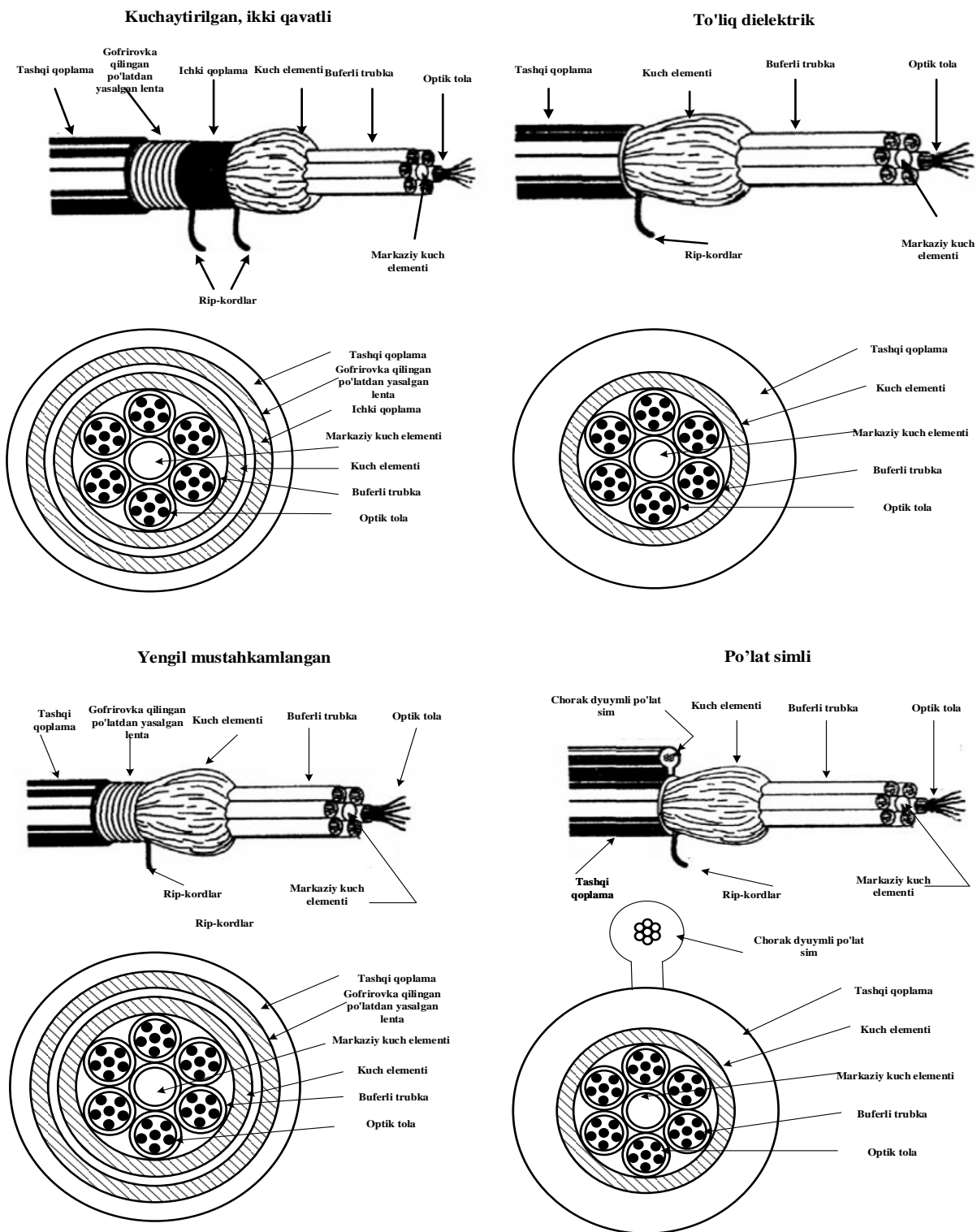
Bo'shashgan buferli kabellarning dizayni ikki xil himoya choralari qo'llash orqali suvning kirib kelishidan himoya qilish va bu ta'sirni kamaytirish imkonini beradi: suvning kabel yadrosiga kirishidan himoya qilishni blokirovka qilish va bufer trubkasini aralashma bilan to'ldirish. Bloklashdan himoya qilish kabelning tashqi qobig'i shikastlanganda suvning kirib kelishini to'xtatish yoki uning ta'sirini sezilarli darajada kamaytirish uchun simi yadrosi atrofida jelni pompalash va kabel yadrosini suvni yutuvchi material bilan o'rash orqali ta'minlanadi. Ushbu himoya choralari, birinchi navbatda, kabelning mexanik yaxlitligini saqlab qolish uchun

mo'ljallangan (masalan, muz kristallari paydo bo'lishidan, mog'or paydo bo'lishidan yoki kabelning metall qismlarining korroziyasidan, agar mavjud bo'lsa, yoriqlar paydo bo'lishining oldini olish uchun). Murakkab bilan to'ldirish tolalarni mexanik yostiq bilan qoplash imkonini beradi, bu ularni kolba ichida suzish imkonini beradi va ish muhitida tola va suv / namlik o'rtasida qo'shimcha to'siq hosil qiladi. Standart mahkam himoyalangan tolalar aralashma yoki suvni to'sib qo'yadigan himoyaga ega emas, bu esa uni suvning kirib kelishidan kelib chiqadigan shikastlanishga sezgir qiladi.

Yana bir muammo-ultrabinafsha (UV) nurlanishdan himoya qilish. Kabellarni to'xtatganda, OTK to'g'ridan-to'g'ri quyosh ultrabinafsha nurlanishiga chidamli bo'lishi kerak. Free Buffered Wok ultrabinafsha nurlanishidan himoya qilish uchun tashqi ko'ylagi materialida uglerodni o'z ichiga oladi. Qattiq himoyalangan tola tashqi qobiqda uglerodni o'z ichiga olmaydi, shuning uchun uni osma kabel sifatida ishlatib bo'lmaydi (4.6).

4.4.3. Kuchli elementlar

Kuchli elementlar — OTKning muhim qismi, ayniqsa, chiziqni o'rnatish vaqtida tortish jarayonida. O'rnatish paytida tortish va boshqa harakatlar paytida kabeldagi kuchlanish darajasi mikroblarning paydo bo'lishi tufayli yo'qotishlarning ko'payishiga olib kelishi mumkin, bu esa o'z navbatida zaiflashuvning kuchayishiga va materialning "charchoqlari" ning mumkin bo'lgan oqibatlariga olib keladi. O'rnatish va ishlatish jarayonida ushbu stress yuklarini olib tashlash uchun OTK tuzilishiga ichki mustahkamlik elementlari qo'shiladi. Ushbu elementlar telefon liniyalari va boshqa kabel konstruksiyalarida bo'lganlarga o'xshash yuk ostida kuchlanish xususiyatlarini ta'minlaydi. Ular cho'zilish va qisqarishni kamaytirish orqali tolani ortiqcha yuklanishdan himoya qiladi. Shuni yodda tutish kerakki, optik tolalar mo'rt va sinishdan oldin juda oz cho'ziladi. Shunday qilib, quvvat elementlari kutilgan kuchlanish yuki ostida faqat kichik cho'zilishga ega bo'lishi kerak.

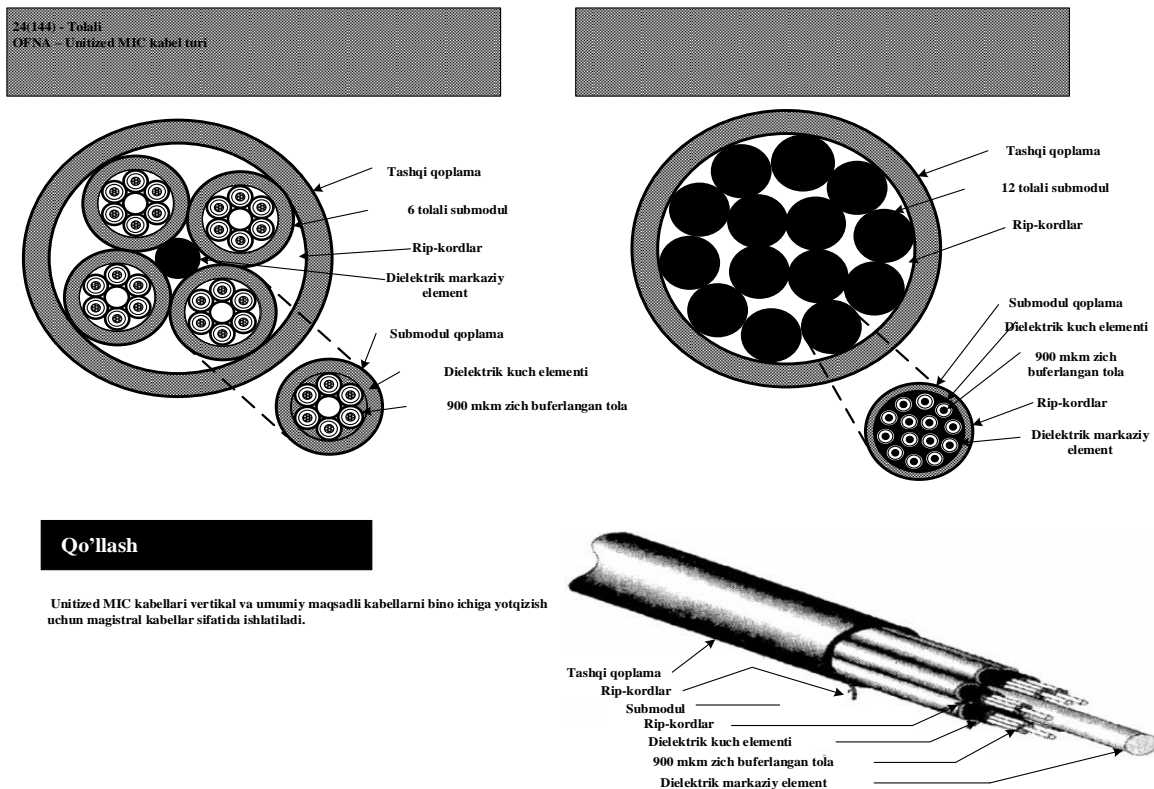


4.7(a) - rasm. Xususiy/davlat CATV uzun bo'limlarida foydalanish uchun 4 ta Belden Beloptix bo'sh 69uffer kabelining torlari va kesmalari (Belden Wire and Cable Inc., Richmond, Indiana izni bilan).

OTK qurilishida uch turdagi yuk ko'taruvchi elementlar keng qo'llaniladi: shisha tolali epoksi tayoqlar, po'lat va aramid

filamentlari. Birinchi ikkitasining sindirish kuchi 480 funt (2135 N), aramid uchun esa 944 funt (4199 N) ni tashkil qiladi. Sindirishdan oldin cho‘zilish ulushi shisha tolali uchun 3,5, po‘lat uchun 0,7 va aramid uchun 2,4 ni tashkil qiladi. Ta’sirga chidamlilik, moslashuvchanlik va boshqa mexanik omillar ham mustahkamlik elementlarini tanlashga ta’sir qiladi (4.5).

Ba’zi tipik kabel konstruksiyalari (torli va ularning kesimlari) 2.7(a) va 2.7(b)-rasmlarda ko‘rsatilgan. 4.7(a) - rasmda kabel televideniesi (CATV) tarmoqlarining uzun bo‘limlarida qo‘llaniladigan OTKning 4 ta misolini beradi. Undan keyin 4.2 (a) jadvalda ushbu turdagi kabellarning odatiy fizik xususiyatlari uchun. Ushbu jadvalda Belden Beloptix kabellari mavjud. Barcha 4 ta OTK misollari "erkin buferlangan" sinfga tegishli. "Tezlashtirilgan" yoki "profil" qoplama indeks tolasi tushunchalari quyida 4.6-bandda muhokama qilinadi.



4.7(b) - rasm. Corning Cable Systems kompaniyasining ichki makonda foydalanish uchun torli tasavvurlar va zich himoyalangan kabel dizayni. Bular NEC kodlari (Unitized MIC magistral kabellari) talablariga javob beradigan yong‘inga chidamli (olovga chidamli) kabellardir (Corning Cable Systems, LANscape Solution Catalog, c. 1.30 ruxsati bilan).

4.7(b) - rasmda ichki magistral kabellar sifatida foydalanish uchun zich himoyalangan optik tolali kabelning tipik xususiyatlarini ko'rsatadi. Ular Corning Cable Systems kompaniyasining "Unitized MIC" OTK turi bo'lib, 24 dan 144 gacha individual kabel yadrolariga ega. Bu raqam 4.2(b)-jadvaldan foydalanadi, tegishli fizik va uzatish xususiyatlarini o'z ichiga oladi.

4.2(a) - jadval

Belden kompaniyadagi OTK tarmoqlarining fizik xususiyatlari

Fizik ma'lumotlar	To'g'irlangan qobiq
Tolalar soni	4-288
Tola turi	Bir modli
Qobiqning diametri	125±1 mkm
Qoplama turi	Ultrabinafsha akrilat
Tashqi qobiq	O'rtacha zichlikdagi polietilen
Element kuchi	Shisha tolali aramid va markaziy sterjen
Ishchi temperatura diapozoni	2700 N
Maksimal yuk davomiyligi	600 N
Mod maydonining diametri	$\lambda=1310$ nm uchun 9.3±0.5 mkm $\lambda=1550$ nm uchun 10.5±1.0 mkm

Izohlar. Maksimal zaiflashuv: 1310 nm to'liq uzunligida - 0,35 dB / km va 1550 nm to'liq uzunligida - 0,25 dB / km. O'rnatish vaqtida minimal radiusi (dyuymlarda) 20 OTK diametri. Uzluksiz foydalanish uchun minimal egilish radiusi (dyuymlarda) 10 OTK diametri (Belden simi va kabeli [2.5] izni bilan).

4.2(a) - jadval

Corning Cable Systems Unitized MIC magistral OTKlarining fizik parametrlari va uzatish xususiyatlarining qisqacha mazmuni

Saqlash harorati	-40°C - +70°C
Ishchi harorat	-20°C - +70°C
NEC/CSA ro'yxati	NEC «OFNR», CSA «FT-4»
Yong'in havfsizligi	UL-1666 (binolardagi magistral va umumiy kabellar uchun)

4.2(b) - jadvalning davomi

Tolar soni	Modullar soni	Nominal tashqi diameter (mm)	Nominal og'irlik (kg/km)	Markazlashgan element kuchi-ning turi	Maksimal tortiluvchi yuk, (N)	Egishning minimal radiusi (sm)		
6 tolali submodul								
24	4	12.2	120	G	2500	1000	18.2	12.2
30	5	13.6	159	G	3500	1700	20.4	13.6
36	6	15.2	189	JG	4000	2000	22.8	15.2
48	8	17.9	264	JG	5000	2500	26.8	17.9
60	10	21.1	380	JG	5500	3000	31.7	21.1
72	12 (9/3)	20.3	301	G	5600	3000	30.5	20.3
12 tolali submodul								
72	6	22.3	373	JG	7000	3500	33.5	22.3
84	7	24.5	458	JG	7000	3500	36.8	24.5
96	8	26.6	543	JG	8800	4000	39.9	26.6
108	12 (9/3)	30.0	492		10000	4000	45.0	30.0
120	12 (9/3)	30.0	527		10000	4000	45.0	30.0
132	12 (9/3)	30.0	567		10000	4000	45.0	30.0
144	12 (9/3)	30.0	572		10000	4000	45.0	30.0

Izohlar. *=1 plomba moduli (kordel), **=2 to'ldiruvchi modul (kordel), ***=3 to'ldiruvchi modul (kordel), *, **, *** bilan barcha variantlar 3 ta ichki (markaziy) modulga mos keladi. Modullar soni ikki qatlamli modulli versiyani ham o'z ichiga oladi. Masalan, 12 (9/3**) 3 ta ichki (markaziy) modul atrofida joylashgan 9 ta tashqi modulga mos keladi, ulardan ikkitasi kordeldir (Corning Cable Systems ruxsati bilan, LANscape katalogiga qarang, 1.31-bet [2.7]).

4.5. Optik tolaning xususiyatlari

4.5.1. Optik xususiyatlar

Yuqorida ta'kidlab o'tilganidek, bir modli tolada ishlaydigan to'liq uzunligida faqat bitta mod tarqaladi. Ushbu optik tola toifasida bizda quyidagi turlar mavjud: standart bir modli tolalar, nol dispersiyali siljishli tolalar va nol bo'lmagan dispersiyali tolalar. Ular

tolalar dizayniga bog'liq. Ushbu turdagi tolalarni sinab ko'rayotganda, yorug'lik manbai (lazer diodi yoki YCHD (LED)) qat'iy monoxromatik emasligini va uning chiqish nurlanishi ma'lum bir to'lqin uzunligi bandini qamrab olishini esga olish kerak. Spektral komponentlarning tarqalish vaqti har xil bo'lishi natijasida impuls-larning kengayishi kuzatiladi. Bunday kengayish darajasi ishlatiladigan manbaning spektral kengligi bilan mutanosibdir. Monoxromatikga yaqin (yagona uzunlamasına mod) lazer manbalari (SLM lazerlari), odatda taqsimlangan qayta aloqa lazerlari mes New Rom-ga ruxsat etilganidan nol dispersiya to'lqin uzunligidan uzoqroq bo'lgan to'lqin uzunliklarida bir modli tola bilan normal ishlashiga bir nechta uzunlamasına modlardan foydalangan holda lazerlar (MLM lazerlari) imkon beradi.

EIA/TIA standartlari – bir modli tolalarni dispersiya xususiyatlariga ko'ra tasniflaydi. *1310 nm* mintaqada nol dispersiyali to'lqin uzunligiga ega bo'lgan nolga o'tmaydigan bir modli tolalar mavjud (bu tolalar odatda standart bir modli tolalar deb ataladi). Bu tolalar *EIA/TIA* sinfi IVa. Dispersiyali siljishli tolaning ikki turi ham mavjud. Ulardan biri *1550 nm* (odatda dispersiyaga o'tgan bir modli tolalar deb ataladi) da nolga o'tadi, bu *EIA/TIA* tomonidan IVb sinf tolasi sifatida tasniflanadi. Boshqasi nolga teng bo'lmagan dispersiyaga ega, *1550 nm* shaffoflik ko'zgasida ma'lum bir mintaqada nolga teng bo'lmagan (lekin kattaligi kichik) dispersiyaga ega.

Bu tola IVd sinf tolasi sifatida tasniflanadi.

1550 nm da tolaning susayishi har qanday tola turi uchun taxminan *1310 nm* dan sezilarli darajada past bo'lishi mumkin. Shu bilan birga, *1310 nm* da dispersiyali siljishli tolalarning tarqalishi bir xil to'lqin uzunligidagi dispersiyadan sezilarli darajada yuqori bo'lishi mumkin, ammo dispersiya siljishsiz tolalar uchun.

4.5.2. Mexanik xususiyatlar

Optik tolaning asosiy xususiyatlaridan biri uning mustahkamligidir. Biroq, ishlab chiqarish jarayonida tolaning yuzasida mikroskopik nuqsonlar paydo bo'lib, ular asosiy quvvatni sezilarli darajada

buzadi. Kabelni ishlab chiqarish jarayoni va tolaning kabelga yotqizilishi tufayli tolaning mustahkamligi yanada yomonlashadi. Sirdagi nuqsonlar (yoriqlar) o'sishi tufayli mustahkamlikning yomonlashishi va tolaning sinishi uchta sabab bilan izohlanishi mumkin: dinamik charchoq, statik charchoq va yukning yo'qligida qarish. Ko'pgina OTK montajchilari o'tmishda butunlay boshqacha mexanik xususiyatlarga ega bo'lgan mis kabellarni o'rnatishda ishlagan. Dinamik charchoq qisqa muddatli sezilarli kuchlanish kuchlarini qo'llashda paydo bo'ladi. Bu OTK truba orqali o'z joyiga tortilishi yoki hidoyat quvurlari/ laganlar bo'ylab tortilishi odatiy ssenariyga mos keladi. Statik charchoq, aksincha, kabel uzoq vaqt davomida doimiy yuk ostida bo'lganda olinadi. Yuklanmagan qarish kabelning yuki tushirilganda, lekin yuqori atrof-muhit harorati va namligiga ta'sir qilganda yuzaga keladigan quvvatning pasayishining bir turiga ishora qiladi.

4.5.3. Optik tolali modullar

Optik tolali (yoki optik) modullar bajaradigan vazifa tolaning iplarini ularni aniqlash va qayta ishlashni soddalashtiradigan tarzda tashkil qilish, shuningdek, bunday tashkilotning tuzilishi nafaqat tolalar iplari bo'lganda ham saqlanib qolishini ta'minlashdir. tolalar yig'ilgan OTKda, balki tashqi qobiq kabeldan chiqarilganda ham. Optik tolali modul tolalar to'plami, tolali lenta yoki bo'sh trubka sifatida ishlab chiqilishi mumkin.

Optik tolali modul, qoida tariqasida, spiral bog'lovchi bilan birga bo'sh yig'ilgan 6-12 tolalarni birlashtiradi. Ushbu bog'lash OTKdagi o'z o'rnini saqlab turishi va OTK olib tashlanganida optik modullarni aniqlashni osonlashtirishi uchun amalga oshirilishi kerak. Tolali lentalarini tashkil qilish usullaridan biri lenta tuzilishini rasmlantirishdir. Bunday optik tolali lentalar bir necha mingtagacha tolalarni kabelga o'rash imkonini beradi. Biroq, qoida tariqasida, bunday lentalar modulni tashkil etuvchi chiziqli qatorda joylashgan 4, 6, 8, 12 yoki 24 ta tolalarni o'z ichiga oladi.

Tolali lentalarini tolalarni aniqlashni osonlashtirish, shuningdek, kuch qo'shish va himoya xususiyatlarini yaxshilash uchun matritsaga

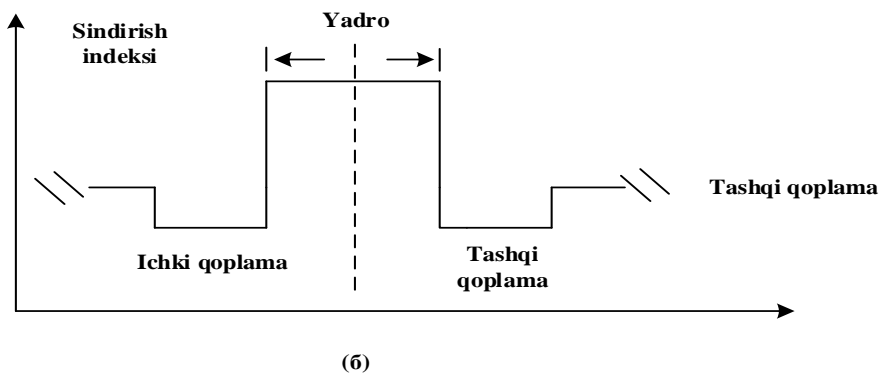
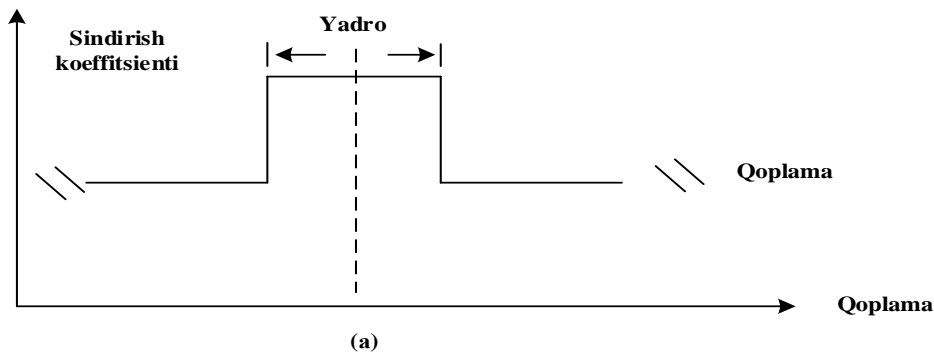
yig'iladi. Ushbu qoliplarning materiali ishonchlilik va ishlashni yaxshilash uchun optimallashtirilgan. O'rnatuvchilar toladan qoplamani olib tashlash uchun termal tolani tozalash vositalaridan foydalanganda va matritsa hosil qiluvchi materialni ulash, tugatish yoki boshqa yig'ish ishlarini bajarishda ushbu material matritsalarining tashqi qoplamasiga mos kelishi kerak. Matritsa hosil qiluvchi material tolaning alohida ipini aniqlash uchun etarlicha shaffof bo'lishi kerak.

Tolali lentalar tashqi mexanik kuchlanishlardan izolyatsiya qilish uchun trubaning ichiga ham joylashtirilishi mumkin. Qoida tariqasida, 6 yoki 12 ta tolalar naychaga joylashtiriladi. Quvur, shuningdek, OTK ning tashqi qobig'ini olib tashlashda modullarni aniqlash qulayligini ta'minlashi kerak.

4.6. Tekislangan yoki profilli qoplama indeks tolasi

Bir modli tolaning eng oddiy dizaynida uning qoplamasi butun qoplama bo'limi bo'ylab tekislangan (bir xil) sinishi indeksiga ega. Ushbu tolali konstruksiya yadro interfeysigacha tekis *profilning sindirish ko'rsatkichi* (PSK) tashkil qiladi. Bu bir xil tolalar xususiyatlarini rag'batlantiradi, bu ayniqsa turli tolalarni bitta mavjud tarmoqqa birlashtirishda muhim ahamiyatga ega. Yassi poydevorli tolali SMF, prinsipial jihatdan, biroz pastroq zaiflashuvni va kattaroq *модли* maydon diametrini (diametri yadroning fizik diametridan kattaroq bo'lgan bir modli tolaning yorug'lik chiqishi bilan band bo'lgan maydon) ta'minlaydi. profilli tolali dizayn holati.

Profillangan PSK tolali dizaynlar odatda ichki bug' cho'ktirish texnikasi yoki optik tolani ishlab chiqarish uchun o'zgartirilgan kimyoviy bug'larni joylashtirish usuli yordamida olinadi. Sinishi ko'rsatkichi profil ko'rsatkichi deb ataladi, chunki u qobiq kesimida bir xil emas, balki qobiq qismining o'rta qismiga bosilgan poydevor profiliga ega. Tushkunlikka tushirilgan poydevor ikkita sinishi ko'rsatkichlari mos kelmasligini ko'rsatadi. Bu shisha trubaning bug' to'plangan shisha bilan uchrashadigan joyida sodir bo'ladi. Chuqurlikning o'zi asosiy materialning bug'lanishidan oldin qoplamaga kimyoviy qo'shimchalar qo'shilishi natijasida yuzaga keladi.



4.8(a) - rasm. Tekislangan qobiqning sinishi indeksi profili (Corning News & Views, (4, 8) ruxsati bilan). (b) Depressiv poydevor bilan sinishi indeksi profili (Corning News & Views, ruxsati bilan).

Ushbu turdagi g'ilof tolaning egilish yo'qolishiga ta'sir qiladi. Yuqorida aytib o'tganimizdek, mod maydonining diametri qanchalik kichik bo'lsa, bukme yo'qotilishi shunchalik past bo'ladi. Bu TFRda farq qiluvchi ushbu tolalarning ikkala turiga ham tegishli.

Shu bilan birga, bir xil moddagi maydon diametri (MFD) uchun, agar egilish diametri 50 mm dan katta bo'lsa, kiritilgan (egilish tufayli) yo'qotish profilning sinishi indeksiga ega bo'lgan tola uchun kattaroqdir. Ushbu turdagi Oburmalar odatda shkafning qo'shimchalari va qo'shimchalarida va kabellarda uchraydi. Shuning uchun, an'anaviy tarzda ishlab chiqarilgan qoplamali profil tolasi biroz kichikroq mod maydon diametriga ega bo'lishini kutish kerak, boshqa narsalar teng (bir xil qiymatlarga erishish). Kichikroq MFDlar profil sinishi indeksiga ega bo'lgan tolalarda ishlab chiqilgan.

4.8(a) - rasmda tekislangan qoplama indeksi profili va 4.8(b) - rasmda profili depressiv poydevorli profili ko'rsatilgan (4.8).

4.7. Yuqori sifatli optik tolaning o'ziga xos xususiyatlari

Corning Fiber Systems tolaning katta samarali faol maydoniga ega LEAF tolasini chiqardi. U 1550 nm shaffoflik ko'zgisida ishlaydigan keng polosali DWDM tizimlarida foydalanish uchun ideal. 4.3-jadvalda bunday tolaning optik tavsiflari ko'rsatilgan. 4.4 - jadvalda bir xil tolaning fizik parametrlari va 4.5 - jadvalda ko'rsatilgan. Sinov natijasida olingan fizik va mexanik parametrlarning ba'zi qiymatlarini beradi.

4.3 - jadval

Corning kompaniyasining LEAF tolasining optik ishlashi

Xarakteristika / parametr	Ma'nosi	Izoh
Zaiflash 1550 nm to'lqin uzunligida 1625 nm to'lqin uzunligida	$\leq 0,25$ dB/km $\leq 0,25$ dB/km	
Uzluksiz buzilish nuqtasi	1550 nm da 0,1 dB dan oshmasligi kerak	
1383 nm da zaiflashuv	$\leq 1,0$ dB/km	
1525-1575 nm oralig'ida zaiflashuvning oshishi	$\leq 0,05$ dB/km	1550 nm to'lqin uzunligiga nisbatan
Egilish tufayli zaiflashuvning kuchayayishi	$\leq 0,05$ dB/km	Diametri 32 mm bo'lgan mandrelda, 1550 va 1625 nm ga nisbatan 1 burilish
Egilish tufayli zaiflashuvning kuchayayishi	$\leq 0,50$ dB/km	Diametri 75 mm bo'lgan davrda, 1550 va 1625 nm ga nisbatan 100 burilish
Moda maydonining diametri	1550 nm da 9,2-10,0 mkm	
Umumiy dispersiya	2,0-6,0 ps/nm/km	
Polarizatsiya mod dispersiyasi (PMD)	4,5-11,2 ps/nm/km	1530-1565 nm oralig'ida

Uzoq chiziqli PMD dispersiyasi	$\leq 0,08 \text{ ps (km)}^{1/2}$ (izoxga qarang)	1565-1625 nm oralig'ida
Har bir tola uchun maksimal PMD	$\leq 0,20 \text{ ps (km)}^{1/2}$	

Izoh. Long Link PMD Dispersion parametri (shuningdek, Line RMS PMD nomi bilan ham tanilgan) kabeldagi tolalarning PMD ni statistik tavsiflash uchun ishlatiladi. Ushbu qiymat OTKLda PMD uchun statistik yuqori chegarani aniqroq aniqlash uchun ishlatiladi.

4.4 - jadval

LEAF tolasining fizik o'lchamlari

Xarakteristika / parametr	Ma'nosi
Standart uzunlik	4,4 - 25,2 km / g'altak
Tolaning ichki egrilik radiusi	$\geq 4,0 \text{ m}$
Qobiq diametri Konsentrik bo'lmagan yadro va qobiq	$125 \pm 1 \text{ mkm}$
Qobiqning dumaloqligi	$\leq 0,5 \text{ mkm}$
Qoplama diametri	$\leq 1,0\%$ (Izohga qarang)
Qoplama va qobiqning konsentrik emasligi	$245 \pm 5 \text{ mikron}$
Qoplama va qobiqning konsentrik emasligi	$< 12,0 \text{ mkm}$

Izoh. $[1 - (\text{qobiqning minimal diametri}) / (\text{qobiqning maksimal diametri})] \times 100$ sifatida belgilangan.

4.5-jadval

Fizikaviy va mexanik parametrlarning qiymatlari

Xarakteristika / parametr	Ma'nosi
Sinov: kuchlanish yuki ostida tolani tagiga qayta o'rash	$> 0,7 \text{ GN/m}^2$ (eslatmaga qarang)
Samarali yorug'lik maydoni	72 mkm^2
Effektiv guruh sinishi indeksi (N_{eff})	1550nm da 1,469
Dinamik charchoqqa chidamlilik ko'effitsiyenti (n_d)	20
Chiqib ketish kuchi, quruq	3,0 N
Chiqib ketish kuchi, nam,	3,0 N
Xona haroratida 14 kun	

Izoh. Yuqori qiymatlarda sinovlarni o'tkazish mumkin.

5-BOB. OPTIK ULAGICHLAR, EHTIYOT QISMLARI VA PASSIV OPTIK QURILMALAR

5.1. Optik ulagichlar, ehtiyot qismlar va passiv optik qurilmalar

Ushbu bobning maqsadi optik tolali tarmoqlarda ishlatiladigan turli xil passiv qurilmalarni tavsiflashdir. Optik tolali tarmoqlarning beshta asosiy turi mavjud. (Muallifning tasnifi umumiy qabul qilinganidan farq qiladi):

- Umumiy yoki shaxsiy foydalanish uchun keng tarmoqli (uzoq masofaga ega);
- Ofis va korporativ tarmoqlar, shuningdek, obyekt tarmoqlari sifatida ham tanilgan;
- Mahalliy tarqatish tarmoqlari, jumladan, kabel televideniesi tarmoqlari (CATV), xususan, gibrid (mis va optik yadroli) kabellardan foydalanadigan tarmoqlar;
- Hududiy tarmoqlar (“Metro” klassi, MAN), ma’lumotlar uzatishni korxonada miqyosidagi tarmoqlardagi kabi amalga oshiradi: tarmoqlar yoki ma’lumotlarni mahalliy yetkazib beradi yoki butun mintaqada bo‘ylab ma’lumotlar oqimini uzatadi;
- Odatda signalni juda qisqa masofalarga uzatuvchi maxsus maqsadli tarmoqlar.

Har bir tarmoq turi ma’lum miqdordagi umumiy va maxsus turdagi passiv qurilmalardan foydalanishni talab qiladi. Masalan, kabel televideniesi tarmoqlari splitterlardan keng foydalanadi.

WDM/DWDM tarmoqlari keng doiradagi maxsus passiv qurilmalardan foydalanadi.

Ushbu bobda biz birinchi navbatda optik tolani tasvirlaymiz ulagichlar (optik ulagichlar) va doimiy ulanishlar (qo‘shimchalar). Quyidagi passiv qurilmalar ham ko‘rib chiqiladi:

- optik ajratgichlar, signal ajratgichlar (ajratgichlar), oqim ajratgichlar;
- optik izolyatorlar;
- optik tolali filtrlar;
- optik zaiflashtiruvchilar;

- optik (passiv) kalitlar;
- passiv (xromatik) dispersiya kompensatorlari;
- terminal (tugatish) elementlari.

Yorug‘lik signalini uzatish sxemasida ishlatiladigan har bir qurilma kiritishni yo‘qotish manbai hisoblanadi. U, shuningdek, aks ettirishning manbai bo‘ladi, odatda aks ettirishning yo‘qolishi bilan tavsiflanadi. Ushbu yo‘qotishlar odatda desibellarda o‘lchanadi. Attenuatorlar bundan mustasno, iloji boricha kamroq kiritish yo‘qotilishi va iloji boricha yuqori qaytish yo‘qotilishini xohlaydi. Misol uchun, siz kiritish yo‘qotilishi 0,1 dB dan kam bo‘lgan, lekin qaytish yo‘qotilishi 40 dB dan yuqori bo‘lgan qo‘shimchalarga ega bo‘lishni xohlaysiz.

5.2. Asosiy ta’riflar

5.2.1. Elementning tarmoqlanuvchi oqimi (to‘lqin uzunligi bo‘yicha tanlanmagan)

Birlashtiruvchi – bu uch yoki undan ortiq portga ega bo‘lgan va ular o‘rtasida quvvatni ma’lum nisbatda hech qanday kuchaytirmasdan, kommutatsiya qilmasdan yoki modulyatsiyasiz taqsimlovchi selektiv bo‘lmagan passiv element.

5.2.2. Optik ajratgich (splitter - birlashtiruvchi)

Filtr - atamasi oqimdan ajralib chiqadigan elementning sinonimi sifatida ishlatiladi. Bundan tashqari, optik quvvatni ikkita optik tola o‘rtasida yoki faol qurilma va tola o‘rtasida taqsimlovchi tuzilmani aniqlash uchun ishlatiladi.

5.2.3. Attenuator

Attenuator – bu optik tolali uzatish liniyasida signalni boshqariladigan zaiflashtirishni amalga oshiradigan passiv element (FOTL).

5.2.4. Optik tolali filtr

Filtr – bu odatda spektral quvvat taqsimotini o‘zgartirish orqali u orqali o‘tadigan optik nurlanishni o‘zgartirish uchun ishlatiladigan passiv element. Xususan, optik tolali filtrlar odatda ma’lum to‘lqin uzunligi mintaqalarida optik nurlanishni kesish yoki yutish va boshqa to‘lqin uzunliklarida nurlanishni o‘tkazish uchun ishlatiladi.

5.2.5. Optik tolali izolyator

Izolyator — optik tolali chiziqda orqa aksni bostirish uchun mo‘ljallangan va oldinga yo‘nalishda minimal kiritish yo‘qotilishiga ega bo‘lgan o‘zaro bog‘liqlik xususiyatiga ega bo‘lmagan optik qurilma.

5.2.6. Optik tolali terminator

Terminator (tugatilgan element - okonechniy element) — aks ettirishni bostirish uchun optik tolani (tugatilgan yoki yo‘q) tugatish uchun ishlatiladigan element.

5.2.7. Optik tolali kalit

Kalit (almashtirish - kommutator) — optik quvvatni optik tolali tolalardan biriga uzatuvchi, blokirovka qiluvchi yoki qayta yo‘naltiruvchi bir yoki bir nechta portga ega bo‘lgan passiv element.

5.2.8. Passiv (xromatik) dispersiya kompensatori

Kompensator - optik yo‘llardan birining xromatik dispersiyasini qoplash uchun ishlatiladigan passiv element.

5.2.9. Optik tolali ulagich (optik ulagich)

Optik ulagich — optik kabellardan biriga ulangan element yoki optik tolalar yoki kabellarni tez-tez ulash/uzish uchun alohida jihoz.

5.2.10. *Optik tolali ulanish*

Qo‘shish – bu ikkita optik tolalar orasidagi doimiy (bir qismli) yoki yarim doimiy (demontaj qilingan, texnologik bo‘shliq bilan) aloqasi bo‘lib, ularning optik oqimlarini birlashtirish (uzluksiz uzatish kanaliga) amalga oshiriladi. Farqlash:

- *payvandlangan birikma*: tolaning uchlari payvandlash yo‘li bilan doimiy uzluksiz ulanishga birlashtiriladigan qo‘shilish;
- *mexanik biriktirish*: tolaning uchlari payvandlash yordamisiz doimiy (uzluksiz yoki oraliq) bo‘g‘inga qo‘shiladigan biriktirish.

6-BOB. OPTIK TOLA SENSOR (SENSOR) LARI

6.1. Optik tolali sensorlarning umumiy ko‘rinishi

Oxirgi 20 yil ichida optoelektronika va optik tolali aloqaning o‘shishi tufayli ikkita yirik mahsulot inqiloblari kuzatildi. Optoelektronika sanoati ixcham kabi mahsulotlarga olib keldi. disk pleyerlari, lazer printerlari, shtrix-kod skanerlari va lazer ko‘rsatkichlari. Optik tolali aloqa sanoati doimiy ravishda pasayib borayotgan tarmoqli kengligi xarajatlari bilan yuqori ishlash va ishonchli telekommunikatsiya aloqalarini ta‘minlash orqali telekommunikatsiya sanoatida tom ma‘noda inqilob qildi. Ushbu inqilob komponent foydalanuvchilariga yuqori hajmli ishlab chiqarish ko‘rinishida foyda keltiradi va shishadan qurilgan haqiqiy axborot magistralini yaratadi.

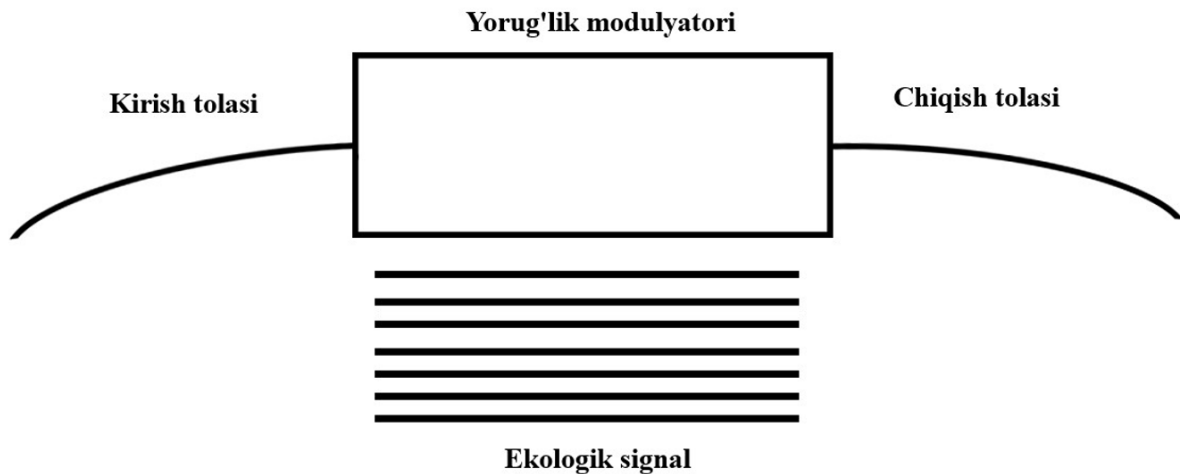
Ushbu ishlanmalarga parallel ravishda, optik tolali sensor texnologiyasi [1-6] optoelektronika va optik tolali aloqa bilan bog‘liq texnologiyalarning asosiy foydalanuvchisi bo‘ldi. Ushbu sohalarda bog‘langan ko‘plab komponentlar ko‘pincha optik tolali sensorlar uchun ilovalarni ishlab chiqdi. O‘z navbatida, optik tolali sensor texnologiyasi ko‘pincha optimallashtirish va keyinchalik ushbu tarmoqlarni qo‘llab-quvvatlash uchun komponentlarni ommaviy ishlab chiqarishni rivojlantirish bilan bog‘liq. Komponentlar narxi tushib ketganligi va sifati yaxshilanganligi sababli, optik tolali sensorlarning aylanish, tezlashtirish, elektr va magnit maydon o‘lchovlari, harorat, bosim, akustika, tebranish, chiziqli va burchak holati, deformatsiya, namlik, yopishqoqlik uchun an'anaviy sensorlarni almashtirish qobiliyati. kimyoviy o‘lchash va boshqa ko‘plab teginish ilovalari yaxshilandi. Optik tolali sensor texnologiyasining dastlabki kunlarida ko‘pgina tijorat muvaffaqiyatli optik tolali sensorlar to‘g‘ridan-to‘g‘ri mavjud sensor texnologiyasi kam yoki ko‘p hollarda mavjud bo‘lmagan bozorlarga qaratilgan edi. Optik tolali sensorlarning o‘ziga xos afzalliklari: (1) ularning engilligi, juda kichik o‘lchamlari, passivligi, past quvvati, elektromagnit parazitlarga chidamliligi, (2) yuqori sezuvchanligi, (3) o‘tkazish qobiliyati va (4) ekologik barqarorligi. Yuqori xarajat va oxirgi foydalanuvchilarning johilligi ko‘rinishidagi asosiy kamchiliklarni qoplash uchun faol foydalanilgan.

Vaziyat o'zgarmoqda. Lazerli diodlar 1979-yilda 3000 dollarga tushdi, umri soatlarda o'lchandi, hozirda kichik partiyalarda bir necha dollarga sotilmoqda, ishonchligi o'n minglab soatlar bo'lib, CD pleerlarda, lazer printerlarida, lazer ko'rsatgichlarda va shtrix-kodni o'quvchida keng qo'llaniladi. 1979-yilda 20 dollar/m² bo'lgan yagona modli optik tolalar hozirda yaxshilangan optik va mexanik xususiyatlar bilan 0,10 dollar/m dan kam turadi. O'sha paytda foydalanish mumkin bo'lmagan integratsiyalashgan optika hozirda optik tolali girooskop modellarini ishlab chiqarishni qo'llab-quvvatlash uchun keng tarqalgan. Bundan tashqari, ular kelajakda yanada murakkab optik dizaynlarni taklif qilib, narxini keskin pasaytirishi mumkin. Ushbu tendensiyalar davom etar ekan, optik tolali sensorlar dizaynerlari uchun raqobatbardosh mahsulotlarni chiqarish imkoniyati oshadi va texnologiya sensorlar bozorida yanada mashhur bo'lishini kutish mumkin. Quyidagi bo'limlarda optik tolali sensorlarning asosiy turlari keltirilgan va bu sensorlar qanday mavjudligi va ishlatilishi muhokama qilingan.

6.2. Asosiy tushunchalar va asosli intensislik optik tolali sensorlar

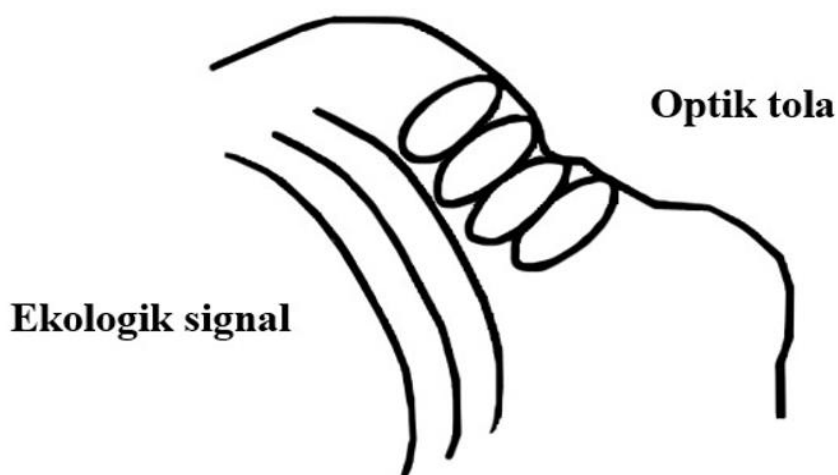
Optik tolali sensorlar odatda tashqi yoki gibrid, optik tolali sensorlar va ichki yoki to'liq tolali sensorlar deb ataladigan ikkita asosiy sinfga bo'linadi. 6.1 - rasmda tashqi yoki gibrid optik tolali sensorning holati ko'rsatilgan.

Bunday holda, optik tolali "qora quti" ga olib keladi, bu juda ta'sirli. atrof-muhit ta'siriga javoban yorug'lik nurlari haqida ma'lumot. Axborot intensivligi, fazasi, chastotasi, qutblanishi, spektral tarkibi yoki boshqa usullar bilan ta'sirlanishi mumkin. Keyin optik tola atrof-muhit haqidagi ma'lumotni optik va/yoki elektron protsessorga qaytaradi. Ba'zi hollarda kirish optik tolasini chiqish tolasini sifatida ham ishlaydi. 6.2 - rasmda ko'rsatilgan ichki yoki to'liq tolali sensor yorug'lik nurini tashish uchun optik toladan foydalanadi va atrof-muhit ta'siri tolada bo'lganida yorug'lik nuriga ma'lumotni ta'sir qiladi. Ushbu tolali sinflarning har biri, o'z navbatida, ko'p sonli optik tolali sensorlardan iborat bo'lgan, ba'zi hollarda kichik sinflarga (6.1) ega bo'lgan ko'plab kichik sinflarga ega.

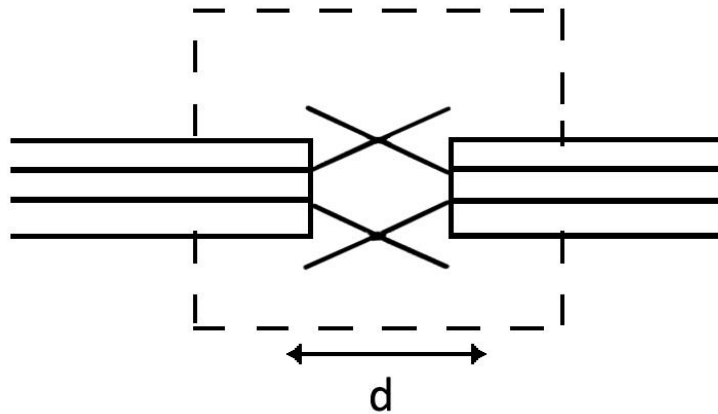


6.1-rasm. Tashqi optik tolali sensorlar qora qutiga olib boradigan va undan chiqadigan optik tolalardan iborat bo'lib, atrof-muhit ta'siriga javoban u orqali o'tadigan yorug'lik nurini modulyatsiya qiladi.

Ba'zi jihatdan optik tolali sensorning eng oddiy turi gibridd turi hisoblanadi. intensivlik modulyatsiyasiga asoslangan. 6.3 - rasmda bir-biriga yaqin joylashgan ikkita optik toladan iborat oddiy yopish yoki tebranish sensori ko'rsatilgan. Yorug'lik optik tolalardan biriga AOK qilinadi; chiqib ketganda yorug'lik yorug'lik konusiga aylanadi, uning burchagi yadroning sinishi ko'rsatkichlari va optik tolaning qoplamasi o'rtasidagi farqqa bog'liq.

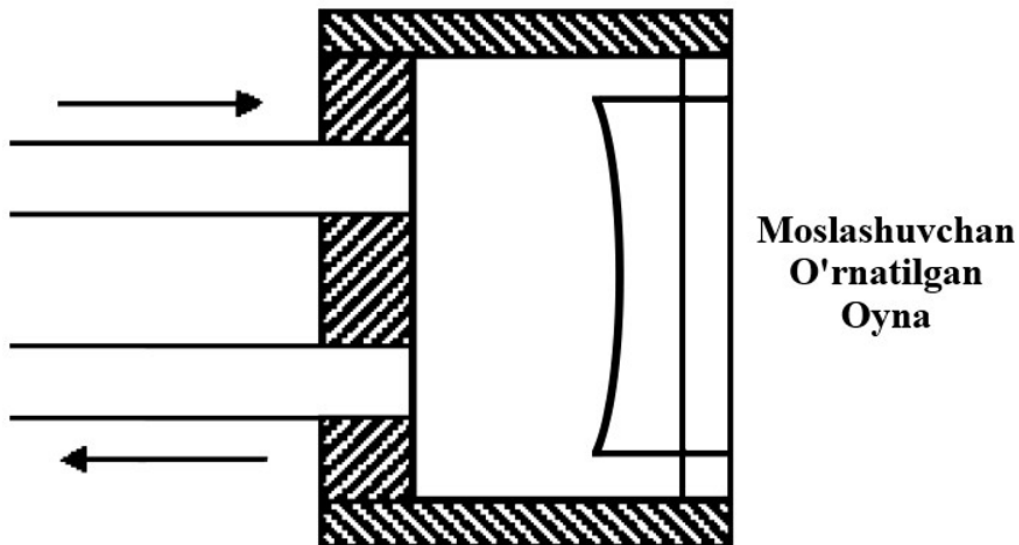


6.2-rasm. Ichki optik tolali sensorlar optik tola orqali tarqaladigan yorug'lik nurlari to'g'ridan-to'g'ri yoki atrof-muhit ta'sirida tolaning o'zida optik yo'l uzunligidagi o'zgarishlar orqali atrof-muhit tomonidan modulyatsiya qilinishiga tayanadi.



6.3-rasm. Eshikni yopish indikatorlarini qo‘llab-quvvatlash va mashinalarda tebranish darajasini o‘lchash uchun ishlatiladigan raqamli diafragma asosidagi 86ptic tolali yopish va tebranish sensorlari.

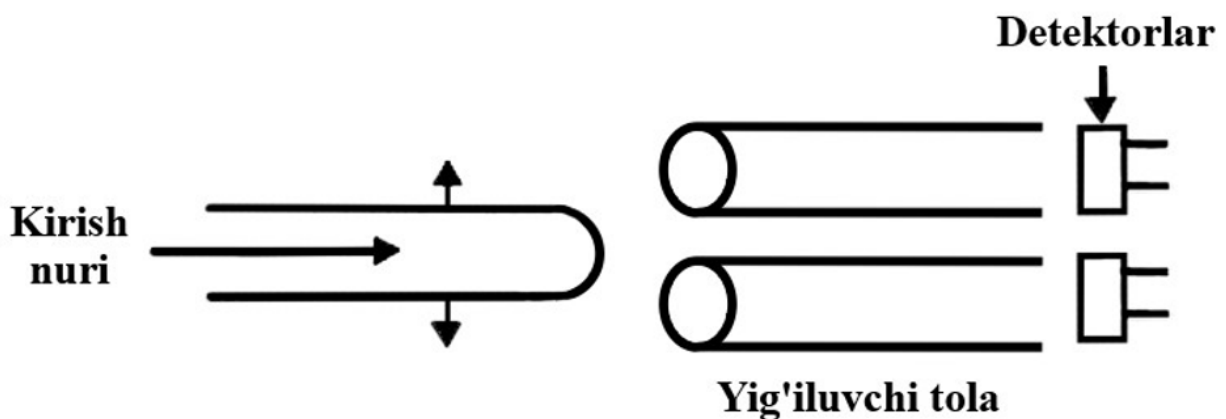
Ikkinchi optik tola tomonidan olingan yorug‘lik miqdori uning qabul qilish burchagiga va optik tolalar orasidagi d masofasiga bog‘liq. D masofasi modulyatsiyalanganda, bu o‘z navbatida olingan yorug‘lik intensivligining modulyatsiyasiga olib keladi.



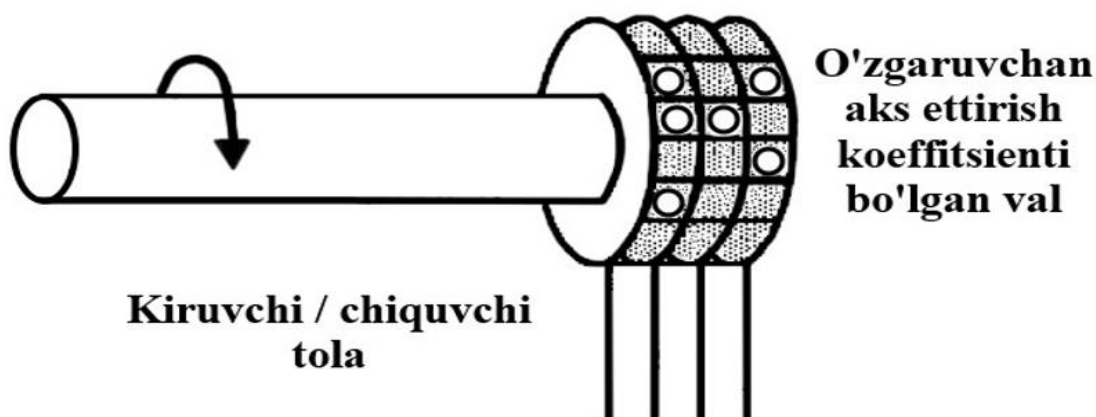
6.4-rasm. Moslashuvchan ko‘zguli raqamli diafragma tolali sensori kichik tebranishlar va siljishlarni o‘lchash uchun ishlatilishi mumkin.

Ushbu turdagi sensorning bir varianti 6.4 - rasmda ko'rsatilgan. Bu erda bosim kabi tashqi ta'sirlarga javob berish uchun moslashuvchan tarzda o'rnatiladigan ko'zgu ishlatiladi. Ko'zguning o'rni o'zgarganda, optik tolalarning samarali ajralishi siljiydi, natijada intensivlik modulyatsiyasi sodir bo'ladi. Ushbu turdagi sensorlar eshiklarni yopish kabi ilovalar uchun foydalidir, bu erda aks ettiruvchi chiziq, aks ettirilgan yorug'likni kiritish va chiqarish uchun ishlaydigan optik tola bilan birgalikda ishlatilishi mumkin.

Ikkita optik tolali chiziqda oddiy joy almashish sensori 6.5 - rasmda ko'rsatilganidek sozlanishi mumkin. Ikki detektorning chiqishi kirish tolasining translatsiya holatini aniqlashga mutanosib bo'lishi mumkin. Bir nechta kompaniyalar aylanadigan va chiziqli optik tolali kabellarni va orqa yorug'lik kabi ilovalarni qo'llab-quvvatlash uchun sensorlar ishlab chiqdilar. Ushbu sensorlar xavfsizlikni yaxshilash uchun elektromagnit parazitlarga sezuvchanlikni yo'q qilishga va og'irlikni kamaytirish uchun ekranga bo'lgan ehtiyojni kamaytirishga harakat qiladi.



6.5-rasm. *Optik tolali translyatsion raqamli diafragma sensori kirish tolasining o'rni aniqlash uchun detektorlardagi chiqish koeffitsientidan foydalanadi.*

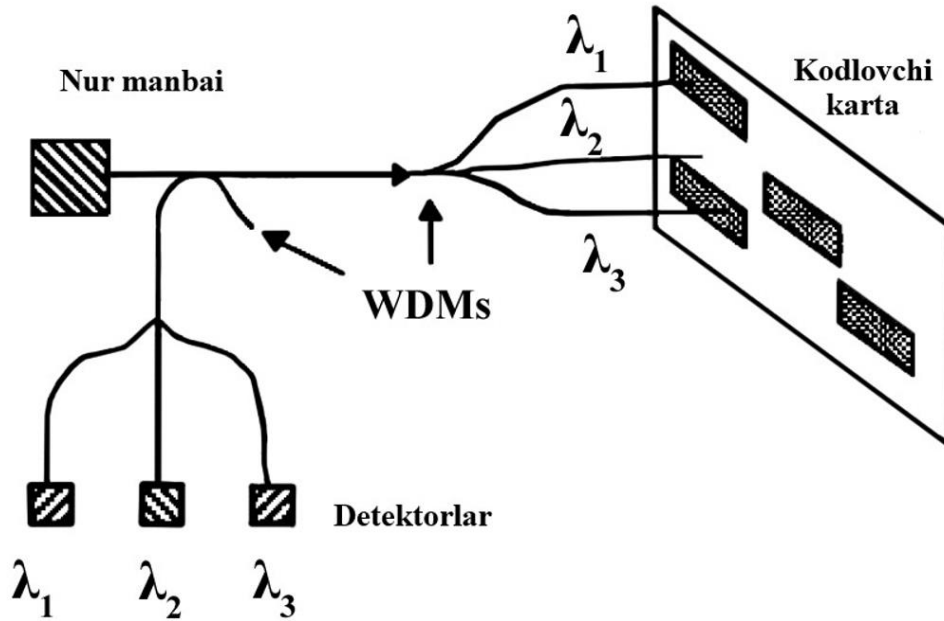


6.6-rasm. Qorong‘u va yorqin nuqtalardan aks ettirilgan yorug‘lik miqdori tufayli milning aylanish holatini o‘lchash uchun ishlatiladigan optik tolali aks ettirishga asoslangan aylanish pozitsiyasi sensori.

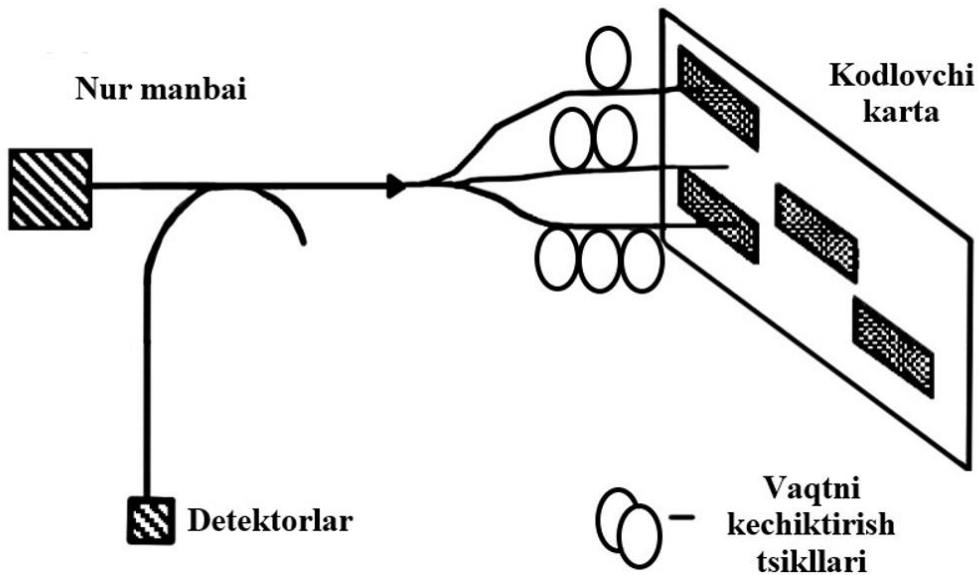
6.6 - rasmda har bir pozitsiya o‘ziga xos kodga ega bo‘lishi uchun joylashtirilgan o‘zgaruvchan aks ettiruvchi yamoqlarga ega bo‘lgan kod plitasidan iborat aylanuvchi kodlovchi [10] ko‘rsatilgan. Dog‘ning mavjudligi yoki yo‘qligini aniqlash uchun bir qator optik tolalar qo‘llaniladi.

To‘lqin uzunligini bo‘lish multipleksatsiyasidan foydalangan holda chiziqli joylashuv sensori misoli 6.7 - rasmda ko‘rsatilgan. Mana, tizimga yorug‘lik kiritish uchun ishlatiladigan YChD (LED) bo‘lishi mumkin bo‘lgan keng polosali yorug‘lik manbai. Bitta optik tola yorug‘lik nurini to‘lqin uzunligi bo‘linishi multipleksatsiyasi (WDM) elementiga o‘tkazish uchun ishlatiladi, bu yorug‘likni kodlovchi kartani so‘roq qilish va chiziqli pozitsiyani aniqlash uchun ishlatiladigan alohida tolalarga ajratadi. 6.7 - rasmdagi xaritada to‘rtburchaklar, 7 tasi yuqori darajada aks ettiruvchi hududlar, qolganlari esa kam aks ettiruvchi.

Keyin aks ettirilgan signallar qayta birlashtiriladi va ikkinchi to‘lqin uzunligi bo‘linadigan multiplekslash elementi bilan ajratiladi, shunda har bir so‘roq qiluvchi tolali signal alohida detektor tomonidan o‘qiladi.



6.7-rasm. To‘lqin uzunligini bo‘linish multipleksatsiyasi yordamida chiziqli joylashuv sensori karta to‘lqin uzunligini bo‘linishning mustaqil detektorlari orqali o‘tayotganda har bir tola holatida aks ettiruvchi nuqta mavjudligi yoki yo‘qligini o‘lchash orqali pozitsiyani dekodlaydi.



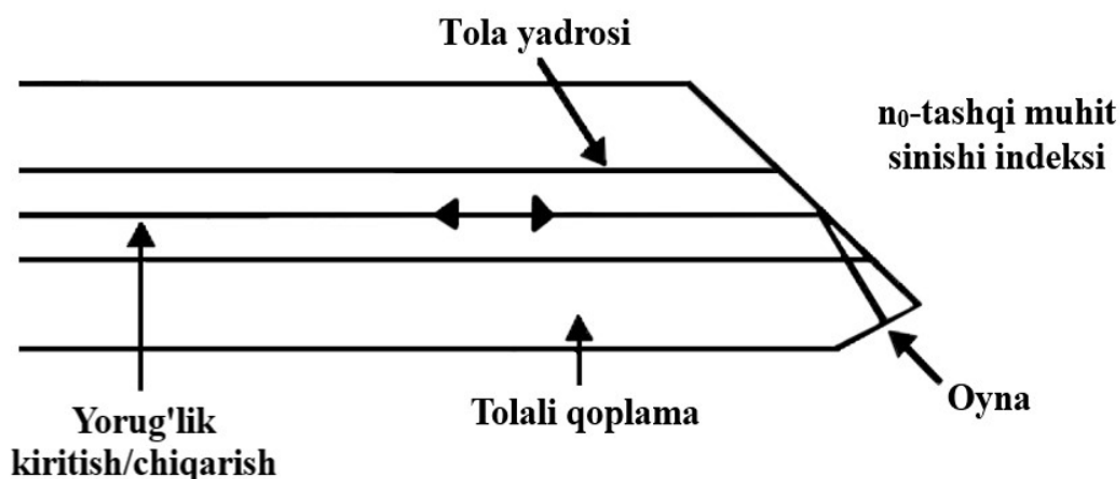
6.8-rasm. Vaqtga bo‘linish multiplekslash texnikasidan foydalangan holda chiziqli joylashuv sensori aks ettiruvchi nuqta mavjudligi yoki yo‘qligi bilan belgilanadigan raqamli oqimni yoqish va o‘chirish yordamida kartaning holatini dekodlaydi.

Yagona optik toladan foydalangan holda joylashuv sensorini so‘roq qilishning ikkinchi keng tarqalgan usuli bu vaqtni bo‘linish multiplekslash usullaridan foydalanishdir [12]. 8-rasmda a yorug‘lik manbai impulsli. Keyin yorug‘lik impulsi optik tola bo‘ylab tarqaladi. va bir nechta so‘rovchi tolalarga bo‘linadi. Ushbu tolalarning har biri shunday tuzilganki, tolalar orqaga qaytish signalini kodlovchi plastinadan impuls kengligidan uzoqroq vaqtga ajratadigan kechikish chiziqlariga ega. Qaytarilgan signallar detektorga qayta birlashtirilganda, natija kodlangan xaritaning holatiga mos keladigan kodlangan signal portlashidir.

Ushbu sensorlar harbiy va sanoat ilovalarida sinovlarni qo‘llab-quvvatlash uchun ishlatilgan. bugungi kun bilan taqqoslanadigan samaradorlikni namoyish etgan tijorat samolyotlari, rul, qanot va gaz kelebeği holati uchun ishlatiladigan an’anaviy elektr joylashuv sensorlari [9]. Optik tolali joylashuv sensorlarining asosiy afzalliklari quyidagilardan iborat: elektromagnit parazitlarga qarshi immunitet va umumiy vaznni tejash.

Intensivlikka asoslangan optik tolali sensorlarning yana bir klassi umumiy ichki aks ettirish prinsipiga asoslanadi. 9-rasmdagi sensor holatida yorug‘lik tola yadrosi bo‘ylab harakatlanadi va tolaning burchak uchiga tegadi. Agar tolaning burchak uchi joylashtirilgan muhit yetarlicha past sindirish ko‘rsatkichiga ega bo‘lsa, u holda deyarli barcha yorug‘lik ayna yuzasiga tegib, tola orqali qaytib kelganida aks etadi. Ammo, agar muhitning sinishi ko‘rsatkichi shishaning sinishiga yaqinlasha boshlasa, yorug‘likning bir qismi optik toladan tarqaladi va yo‘qoladi, natijada intensivlik modulyatsiyasi sodir bo‘ladi. Ushbu turdagi sensor 1% dan 10% gacha bo‘lgan aniqlik bilan suyuqlik yoki jelda bosimning past aniqlikdagi o‘zgarishini yoki sinishi indeksini o‘lchash uchun ishlatilishi mumkin.

Ushbu usulning o‘zgarishlari suyuqliklarni o‘lchash uchun ham ishlatilgan darajasi [13], 6.10 - rasmda zond konfiguratsiyasi bilan ko‘rsatilgan. Suyuqlik darajasi aks etuvchi prizmaga tushganda, yorug‘lik suyuqlikka kirib, signalni sezilarli darajada susaytiradi.

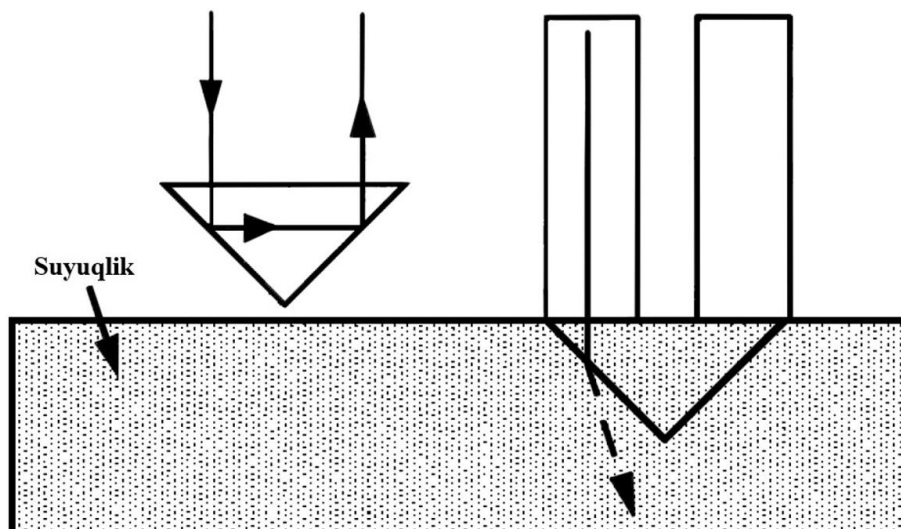


6.9-rasm. Tolaga qaytarilgan yorug'likni o'lchash orqali sinishi bosimi/ko'rsatkichini o'lchash uchun tolaning kritik burchak xususiyatlaridan foydalanadigan tola sensori.

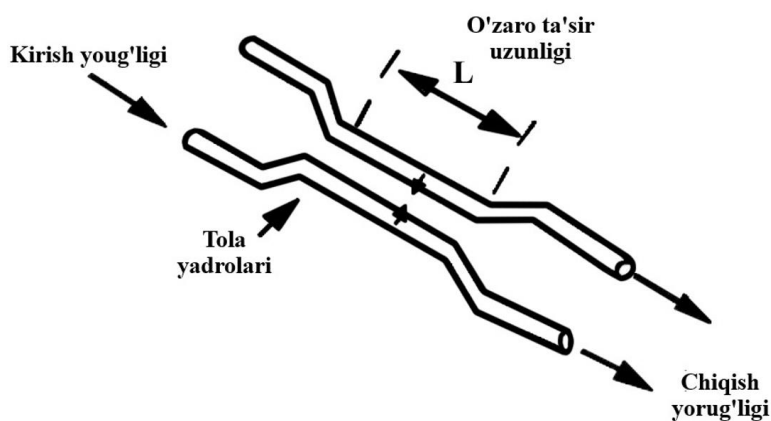
Tola yadrosi hududida tarqaladigan yorug'lik nurini ushlab turish va bir-biriga yaqin joylashgan ikkita tola yadrosidan quvvatni uzatish bir qator zaiflashuvga asoslangan tolali sensorlarni ishlab chiqarish uchun ishlatilishi mumkin [14-16]. 6.11 - rasmda bir-biriga yaqin joylashgan ikkita tolali yadro ko'rsatilgan. Bir modli optik tola [17] uchun bu masofa taxminan 10–20 mikronni tashkil qiladi.

Yagona modli toladan foydalanganda, yorug'lik nuri modning yadro hududidan tashqarida qoplamaga yoki uning atrofidagi o'rta sezilarli darajada tarqalishi mavjud. Agar ikkinchi tola yadrosi yonma-yon joylashtirilsa, bu yo'qolib borayotgan quyruq qo'shni tola yadrosi bilan o'zaro bog'lanishga moyil bo'ladi.

O'zaro bog'lanish darajasi yorug'likning to'lqin uzunligi, tolaning iplari joylashtirilgan muhitning nisbiy sinishi indeksi, yadrolar orasidagi masofa va o'zaro ta'sir uzunligi kabi bir qator parametrlarga bog'liq. Ushbu turdagi optik tolali sensor to'lqin uzunligini, spektral filtrlashni, sinishi indeksini va yadroni o'rab turgan atrof-muhitga ta'sirini (harorat, bosim va kuchlanish) o'lchash uchun ishlatilishi mumkin. Ko'pgina optik tolali sensorlar uchun odatiy bo'lgan ushbu sensorning qiyinligi dizaynni optimallashtiradi, shunda faqat kerakli parametrlar seziladi.



6.10-rasm. Jami ichki aks ettirishga asoslangan suyuqlik darajasi sensori qaytib yorug'lik signalining mavjudligi yoki yo'qligi bilan suyuqlikning mavjudligini yoki yo'qligini aniqlaydi.



6.11-rasm. Evanescence asosidagi optik tolali sensorlar bir-biriga yaqin joylashgan ikkita optik tolali simlar orasidagi yorug'likning o'zaro bog'lanishiga tayanadi. Harorat, bosim yoki deformatsiya tufayli bu masofadagi o'zgarishlar atrof-muhit sharoitlarini aniqlash imkonini beradi.

Optik tolada yorug'likning yo'qolishining yana bir usuli - tolaning egilish radiusi yorug'likni yadro mintaqasiga cheklash uchun zarur bo'lgan kritik burchakdan oshib ketishi va qoplamaga sizib chiqishi. Tolaning mahalliy mikroblanishi bunga olib kelishi

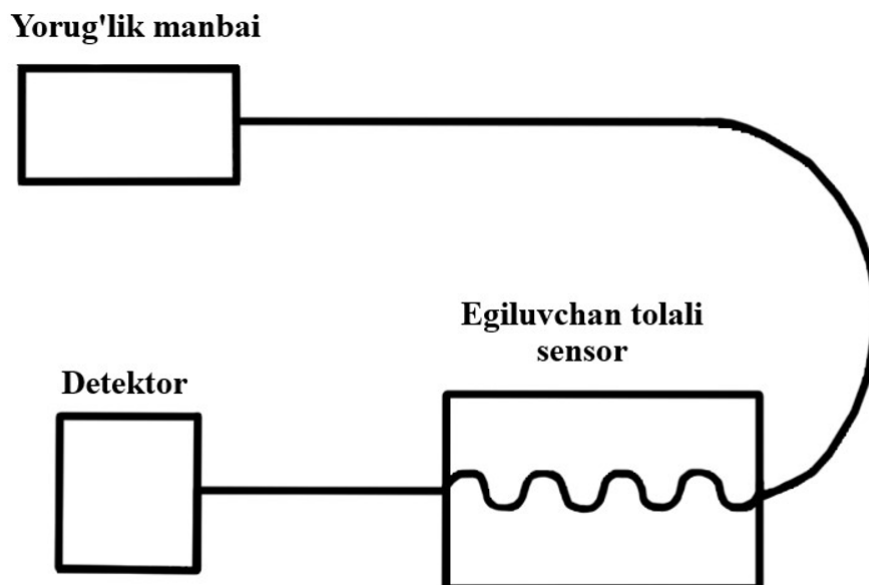
mumkin, natijada yorug'lik intensivligi modulyatsiyasi paydo bo'ladi. optik tola bo'ylab tarqaladi. Tebranish, bosim va boshqa atrof-muhit ta'sirini aniqlash uchun mikroburilishlarga asoslangan bir qator tolali sensorlar ishlab chiqilgan [18-20]. 6.12-rasmda yorug'lik manbai, atrof-muhit stimuliga, ta'sirga va detektorga javoban yorug'lik qizg'inligini modulyatsiya qilish uchun mo'ljallangan mikroben-ding sensoriga joylashtirilgan optik tolali qismdan iborat bo'lgan ushbu turdagi qurilmalarning odatiy joylashuvi ko'rsatilgan.

Ba'zi hollarda, microbending sensori maxsus optik tolali kabellar yoki oddiygina mikrobükme yo'qolishiga sezgir bo'lish uchun optimallashtirilgan optik tolalar yordamida amalga oshirilishi mumkin.

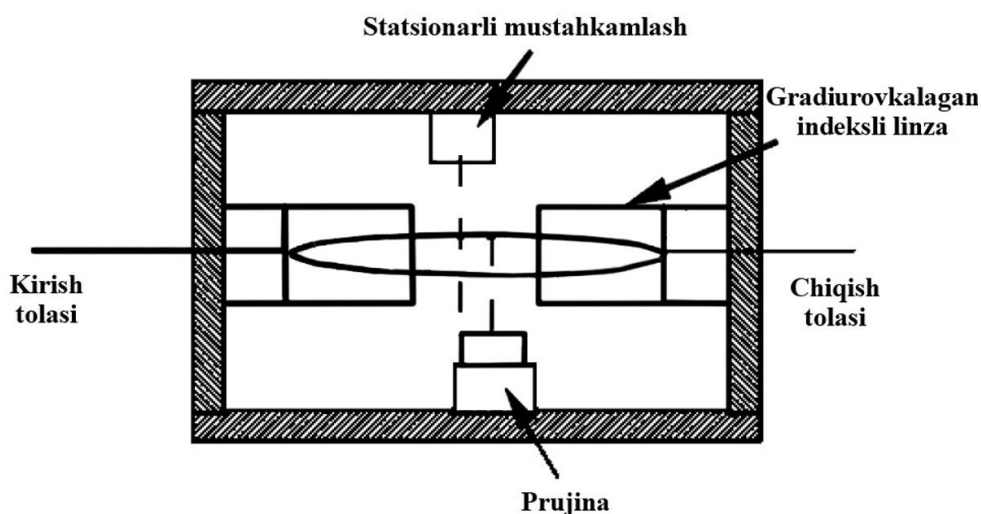
Intensivlikka asoslangan sensorning yakuniy namunasi - bu pan-jaraga asoslangan qurilma. 6.13 - rasmda ko'rsatilgan. Bu yerda kiruvchi optik yorug'lik nuri linza bilan kollimatsiyalanadi. va qo'sh panjarali tizimdan o'tadi. Panjaralardan biri mahkamlangan, ikkin-chisi esa harakat qiladi. Tezlashuv bilan panjaralarning o'zaro joy-lashishi o'zgaradi, bu esa chiqish tolasida intensivlik modulli signalga olib keladi. 6.13 - rasmda kichikroq panjara oralig'i tufayli yuzaga keladi, bu esa diapazon hisobiga sezgirlikni oshiradi.

Ushbu turdagi qurilmalarning cheklovlaridan biri shundaki, panjaralar to'liq shaffof holatdan to'liq noaniq holatga o'tganda, sensorning nisbiy sezgirligi 6.14 - rasmda ko'rsatilganidek o'zgaradi. Optimal sezgirlik uchun panjara yarim ochiq / yarim yopiq holatda bo'lishi kerak. Sezuvchanlikni oshirish panjara oralig'ini yanada nozik va sayozroq qilishni anglatadi, bu esa o'z navbatida dinamik diapazonni cheklaydi.

Dinamik diapazonni cheklamagan holda sezgirlikni oshirish uchun 6.15 - rasmda ko'rsatilganidek, 90 ga ofset qilingan qo'shma panjaralardan foydalaning. Agar ikkita chiqish shu tarzda joylash-tirilgan bo'lsa, 6.16 - rasmda ko'rsatilganidek, natijaviy chiqishlar kvadraturada bo'ladi.



6.12-rasm. Microbend tolali sensorlar shunday tuzilganki, atrof-muhit ta'siri toladagi kichik egilishlar tufayli yorug'likning yo'qolishi tufayli transduser orqali yo'qotishni oshiradi yoki kamaytiradi.

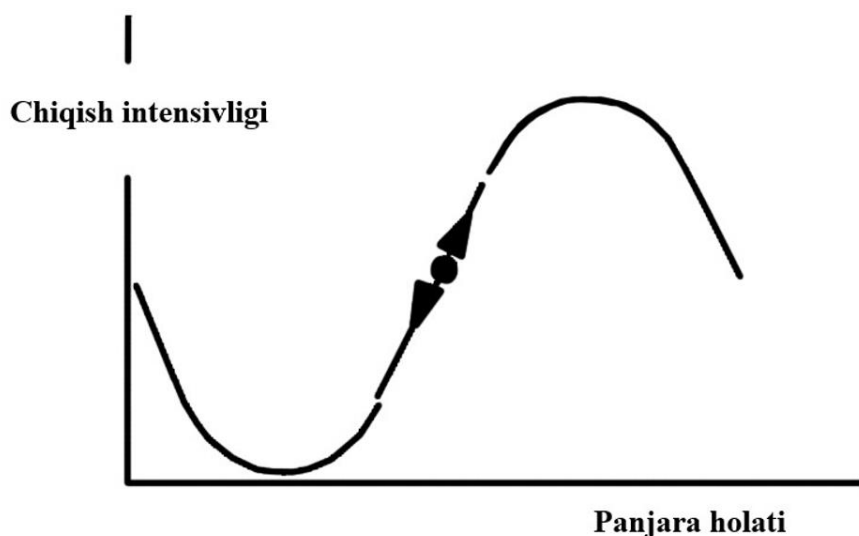


6.13-rasm. Panjara asosidagi tola intensivligi sensorlari yuqori sezgir eshik effekti yordamida tebranish yoki tezlanishni o'lchaydi.

Bitta chiqish optimal sezgirlikka ega bo'lsa, ikkinchisi eng past sezgirlikka ega sezgirlik va aksincha. Ikkala kuzatuv chiqishidan foydalanish bir nechta panjara chiziqlari bo'ylab skanerlashi

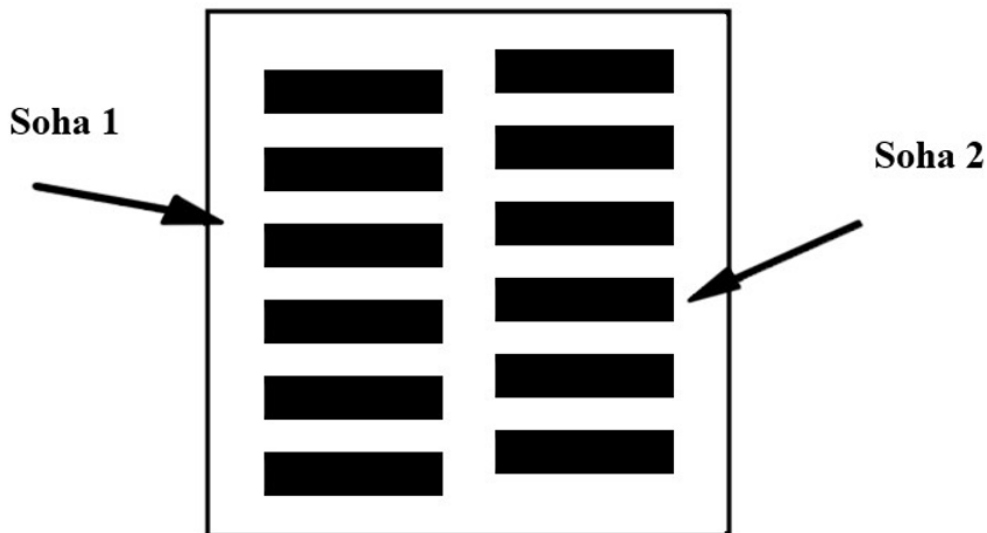
mumkin, dinamik diapazonni oshiradi va minimal sezgirlik pozitsiyalari bilan bog‘liq signalning zaiflashishiga yo‘l qo‘ymaydi.

Intensivlikka asoslangan optik tolali sensorlar bir qator cheklov-larga ega. atrof-muhitga ta’sir qilish bilan bog‘liq bo‘lmagan tizimdagi o‘zgaruvchan yo‘qotishlarni o‘lchash. Mumkin bo‘lgan xato manbalari konnektorlar tufayli o‘zgaruvchan yo‘qotishlarni o‘z ichiga oladi va qo‘shilishlar, mikrobilish yo‘qotilishi, makrobilish yo‘qolishi va yorug‘lik manbalari va detektorlarining mexanik o‘rmlanishi va noto‘g‘ri hizalanishi. Ushbu muammolarni hal qilish uchun ko‘plab muvaffaqiyatli yuqori samarali optik tolali sensorlar ikkita to‘lqin uzunligidan foydalanadilar. To‘lqin uzunliklaridan biri sezgir hududni chetlab o‘tish orqali istalmagan intensivlik o‘zgarish-lari tufayli barcha xatolarni bartaraf etish uchun kalibrlash uchun ishlatiladi.

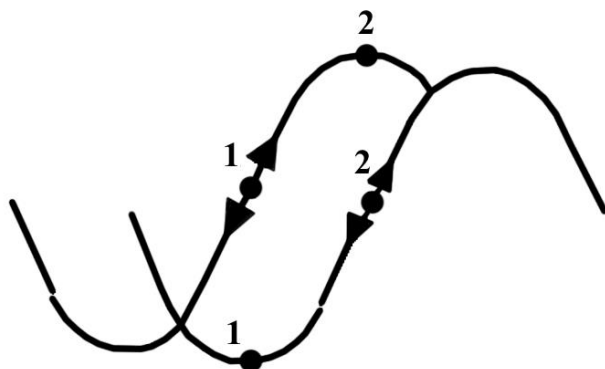


6.14-rasm. Panjara sensorining dinamik diapazoni cheklovlari

Muqobil yondashuv – zo‘ravonlik tebranishlaridan kelib chiqadigan xatolarga tabiatan immunitetga ega bo‘lgan optik tolali sensorlardan foydalanish. Keyingi bo‘limda ushbu xususiyatga ega bo‘lgan bir qator spektral optik tolali sensorlar muhokama qilinadi.



6.15-rasm. To'rtburchakni aniqlashni qo'llab-quvvatlash uchun fazadan tashqari 90 ta maydonga ega ikkita panjarali niqob, panjara asosidagi sensorlarga bir nechta chiziqlarni kuzatish imkonini beradi.



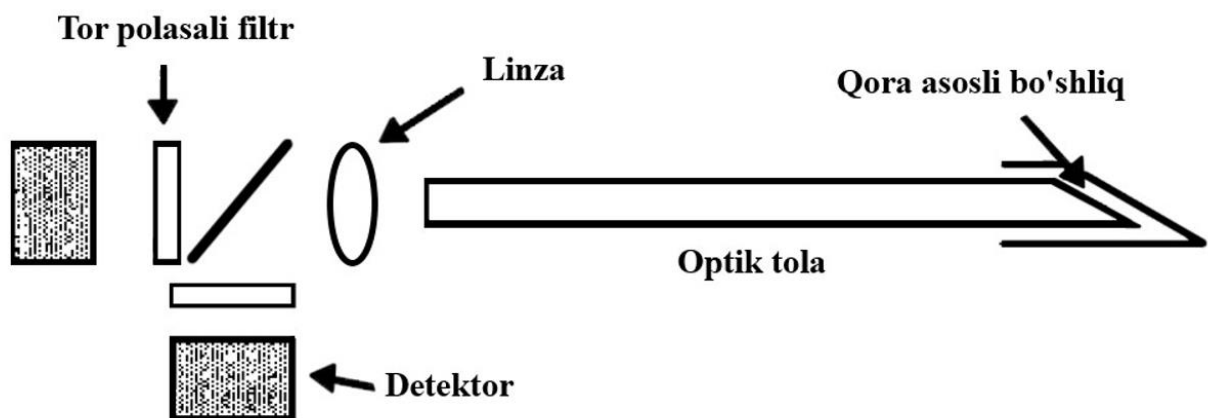
6.16-rasm. Bir sohada maksimal sezuvchanlikni, ikkinchisida esa minimal sezgirlikni ta'minlovchi va aksincha, keng dinamik diapazonda bir xil sezgirlikni ta'minlovchi kvadraturani aniqlash usuli diagrammasi.

6.3. Spektral asosli tolali-optik sensorlar

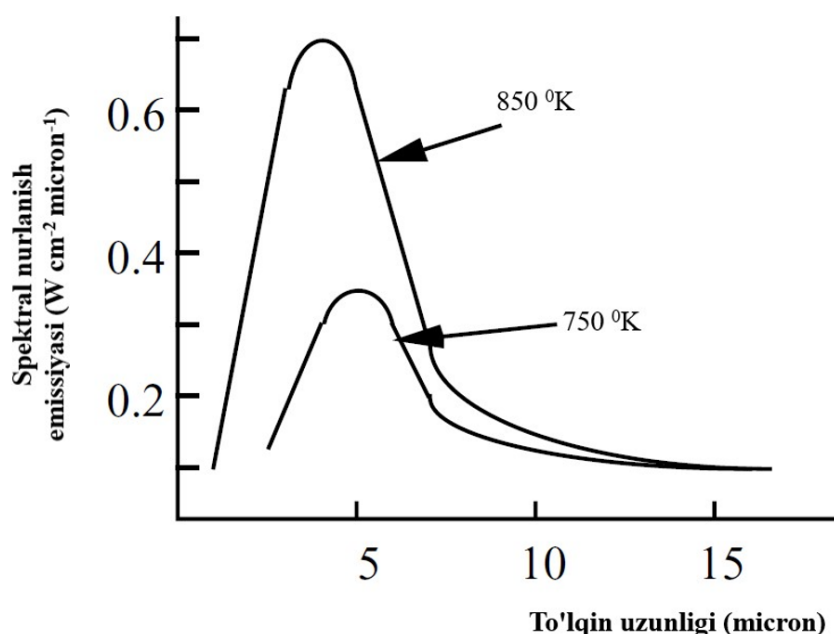
Spektral optik tolali sensorlar atrof-muhit ta'siri tufayli to'liq uzunligiga modulyatsiya qilinadigan yorug'lik nuriga tayanadi. Ushbu turdagi tolali sensorlarga misol sifatida qora tanli radiatsiya, yutilish, floresans, etalonlar va dispersiv panjaralarga asoslangan sensorlar kiradi.

Ushbu turdagi sensorlarning eng oddiylaridan biri orqa sensor (6.17 – rasm). Qora tana boʻshligʻi optik tolani oxirida joylashgan. Boʻshliq qizib ketganda, u porlashni boshlaydi va yorugʻlik manbai sifatida ishlaydi. Keyin detektorlar tor diapazonli filtrlar bilan birgalikda qora jismning egri chizigʻi profilini va oʻz navbatida haroratni aniqlash uchun ishlatiladi (6.18 - rasm). Ushbu turdagi sensorlar muvaffaqiyatli tijoratlashirilgan va qizgʻin RF maydonlarida haroratni bir necha daraja C gacha oʻlchash uchun ishlatilgan. Ushbu sensorning ishlashi va aniqligi yuqori haroratlarda yaxshiroq boʻladi va past signal va shovqin nisbati tufayli 20° C gacha boʻlgan haroratlarda tushadi. Qora tananing eng issiq nuqtasi boʻlishini taʼminlash uchun ehtiyot boʻlish kerak. Boʻshliq, va optik tolani eng chiqishida emas, chunki bu signalning yaxlitligini buzishi mumkin.

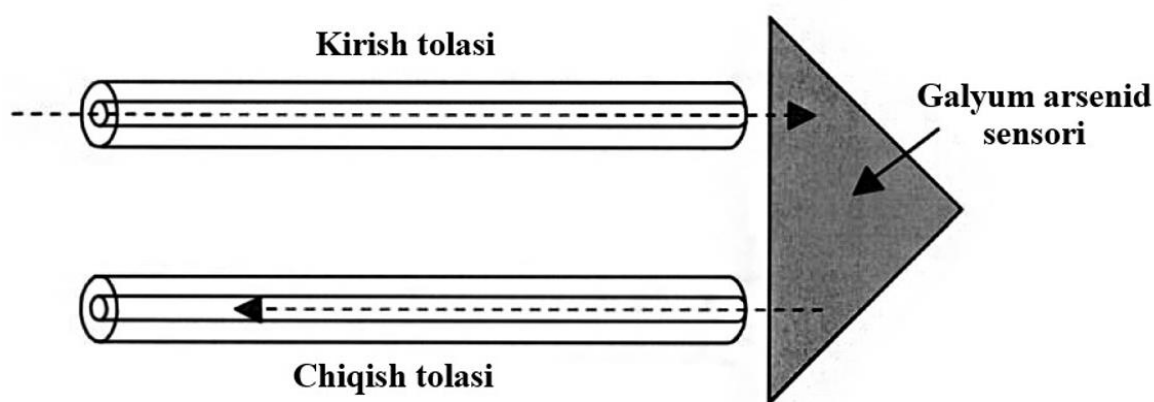
Rasmda koʻrsatilgan spektral harorat sensorining yana bir turi 6.19 - rasmdagi yutilishga asoslangan. Bunday holda, galyum arsenid (GaAs) sensori probi keng polosali yorugʻlik manbai va kirish / chiqish optik tolalari bilan birgalikda ishlatiladi. Probning yutilish profili haroratga bogʻliq va haroratni aniqlash uchun ishlatilishi mumkin.



6.17-rasm. *Optik qora tanli sensorlar issiq nuqtada haroratni oʻlchash imkonini beradi va 300°C dan yuqori haroratlarda eng samarali hisoblanadi.*



6.18-rasm. Qora tananing nurlanish egri chiziqlari har bir harorat uchun o'ziga xos belgilar beradi.



6.19-rasm. GaAs kabi o'zgaruvchan assimilyatsiya materiallariga asoslangan optik tolali sensor harorat va bosimni o'lchash imkonini beradi.

Tolali lyuminescent sensorlar tibbiyotda keng qo'llaniladi, ilovalar va kimyoviy zondlash, shuningdek, harorat, yopishqoqlik va namlik kabi fizik o'lchov parametrlari uchun ham foydalanish mumkin. Ushbu sensorlar uchun bir qator konfiguratsiyalar mavjud,

6.20 - rasmda eng keng tarqalgan ikkitasini ko'rsatadi. Sensor uchida joylashgan bo'lsa, yorug'lik tola bo'ylab lyuminescent probga o'tadi. Olingan lyuminescent signal bir xil tolada ushlanadi va chiqish demodulyatoriga qaytariladi. Yorug'lik manbalari impulsli bo'lishi mumkin va yorug'lik impulsining parchalanish tezligiga bog'liq bo'lgan sensorlar yaratilgan.

Uzluksiz ishlashda uglerod tolasi bilan mustahkamlangan epoksi qatroni va termoplastik kompozit materiallardagi yopishqoqlik, suv bug'ining tarkibi va shifo darajasi kabi parametrlarni nazorat qilish mumkin.

Muqobil variant – tolaning tez oqim xususiyatlaridan foydalanish va qirqish. qaragan joylar va ularni lyuminescent material bilan to'ldiring. Tolaga yorug'lik impulsini yuborish va floresansni kuzatish orqali bir qator sezuvchi hududlar vaqt bo'linishini multiplekslash mumkin.

Bundan tashqari, optik tolaga lyuminescent aralashmalarni kiritish mumkin. o'zim. Ushbu yondashuv butun optik faollashtirilgan tolaning lyuminescentsiyalanishiga olib keladi. Vaqtga bo'linish multipleksatsiyasidan foydalanib, tolaning turli qismlari tolaning uzunligi bo'ylab taqsimlangan o'lchovni amalga oshirish uchun ishlatilishi mumkin.

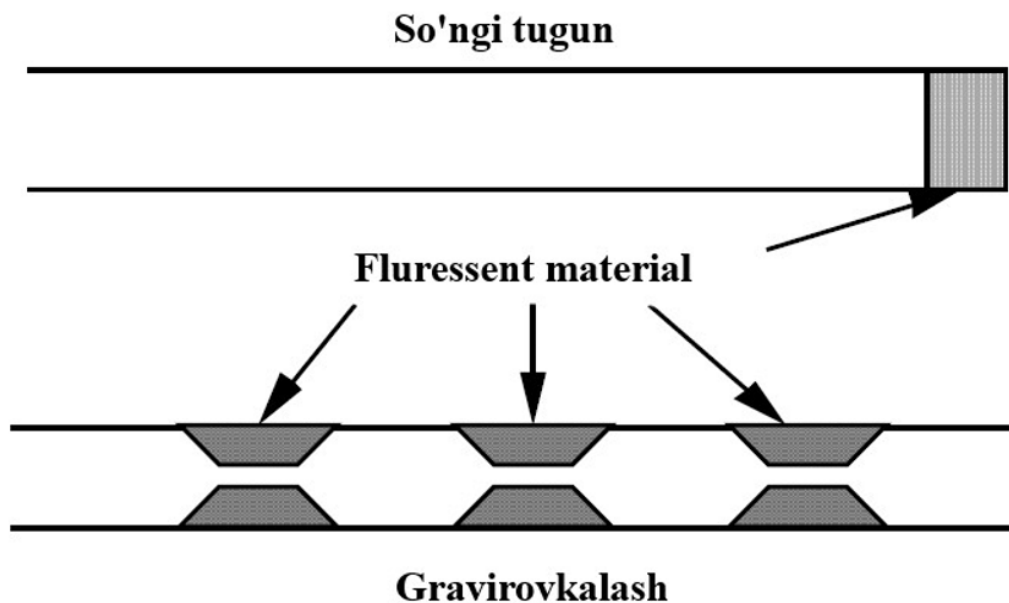
Ko'pgina hollarda, tolali sensorlar foydalanuvchilari optik tolali sensorlarga ega bo'lishni xohlashadi. An'anaviy elektron sensorlarning analogi. Masalan, qurilish muhandislari tomonidan keng qo'llaniladigan elektr yuk hujayrasi. Tola panjarali sensorlar o'lchov uzunligi 1 mm dan taxminan 1 sm gacha bo'lishi mumkin, sezuvchanligi an'anaviy deformatsiya o'lchagichlar bilan solishtirish mumkin.

Ushbu sensor germaniy qo'shilgan optik tolaning yadrosiga tolali panjarani "o'rnatish" orqali amalga oshiriladi. Buni bir necha usul bilan amalga oshirish mumkin. 6.21 - rasmda tasvirlangan usullardan biri. optik tolaning yon tomonida interferentsiya naqshini hosil qilish uchun burchak ostida joylashgan ikkita qisqa to'lqin uzunlikdagi lazer nurlaridan foydalanadi. Interferentsiya sxemasi yorqin va qorong'i chiziqlardan iborat bo'lib, ular tolaning yadro mintaqasidagi sinishi indeksidagi mahalliy o'zgarishlarni ifodalaydi. Ta'sir

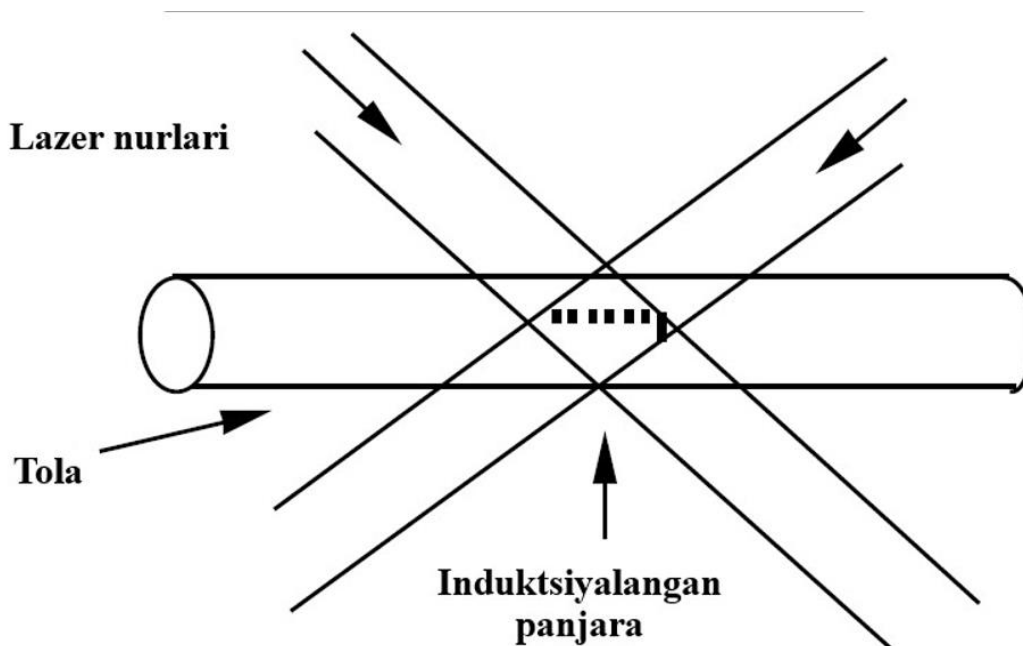
qilish vaqti Ushbu panjaralarni ishlab chiqarish vaqti toladagi nopoklik konsentratsiyasiga, ishlatiladigan to‘lqin uzunliklariga, optik quvvat darajasiga va tasvirlash optikasiga qarab bir necha daqiqadan soatgacha o‘zgaradi.

Qo‘llanilgan boshqa usullar orasida fazali niqoblardan foydalanish, shuningdek, qisqa yuqori energiyali lazer impulslari natijasida yuzaga keladigan shovqin naqshlari kiradi. Qisqa muddatli impulslar tortilganda tolaga tolali panjaralarni yozish uchun ishlatilishi mumkin.

Butun dunyodagi laboratoriyalar tolali panjaralarning ishlab chiqarish qobiliyatini yaxshilash uchun katta sa’y-harakatlarni amalga oshirmoqda, chunki ular optik aloqani qo‘llab-quvvatlash, shuningdek, sensorli texnologiyalarni qo‘llab-quvvatlash imkoniyatiga ega.



6.20-rasm. *Fluoresan optik tolali sensorli prob konfiguratsiyasi fizik parametrlarni o‘lchash, shuningdek, kimyoviy turlarning mavjudligi yoki yo‘qligini qo‘llab-quvvatlash uchun ishlatilishi mumkin. Ushbu zondlar bitta uchli yoki multidrop sifatida sozlanishi mumkin. yon qirqish texnikasidan foydalanish va tolaga lyuminescent materialni biriktirish.*



6.21-rasm. *Tolali panjara sensorini ishlab chiqarish interferentsiya naqshini yaratish uchun optik tolaning yon tomoni orqali qisqa to‘lqin uzunlikdagi lazer nurlarini tasvirlash orqali amalga oshirilishi mumkin. Optik tolali yadroda ko‘rsatilgan yorqin va qorong‘i chiziqlar sinishi indeksining o‘zgarishiga olib keladi, natijada tolali yadro bo‘ylab panjara paydo bo‘ladi.*

Tola panjarasi ishlab chiqarilgandan so‘ng, keyingi muhim masala - undan qanday ma‘lumot olish. Deformatsiya o‘lchagich sifatida foydalanilganda, tolali panjara odatda strukturaga biriktiriladi yoki ichiga o‘rnatiladi. Tola panjarasining kengayishi yoki qisqarishi bilan panjara davri kengayadi yoki qisqaradi, panjaraning spektral reaksiyasini o‘zgartiradi.

1300 nm da ishlaydigan panjara uchun to‘lqin uzunligining o‘zgarishi har bir mikroshtamm uchun taxminan 10^{-3} nm ni tashkil qiladi. Ushbu turdagi ruxsat an‘anaviy spektrometrlarga qaraganda ancha yaxshi bo‘lgan spektral demodulyatsiya usullaridan foydalanishni talab qiladi. Bir necha demodulyatsiya usullari taklif qilingan. Sinov tolali panjaralar, standartlar va interferometrlar yordamida amalga oshirildi. 6.22 - rasmda mos yozuvlar tolasi panjarasidan foydalangan holda tizim ko‘rsatilgan. Yo‘naltiruvchi tolali panjara filtr modulyatori vazifasini bajaradi. Malumot va signal panjaralari uchun

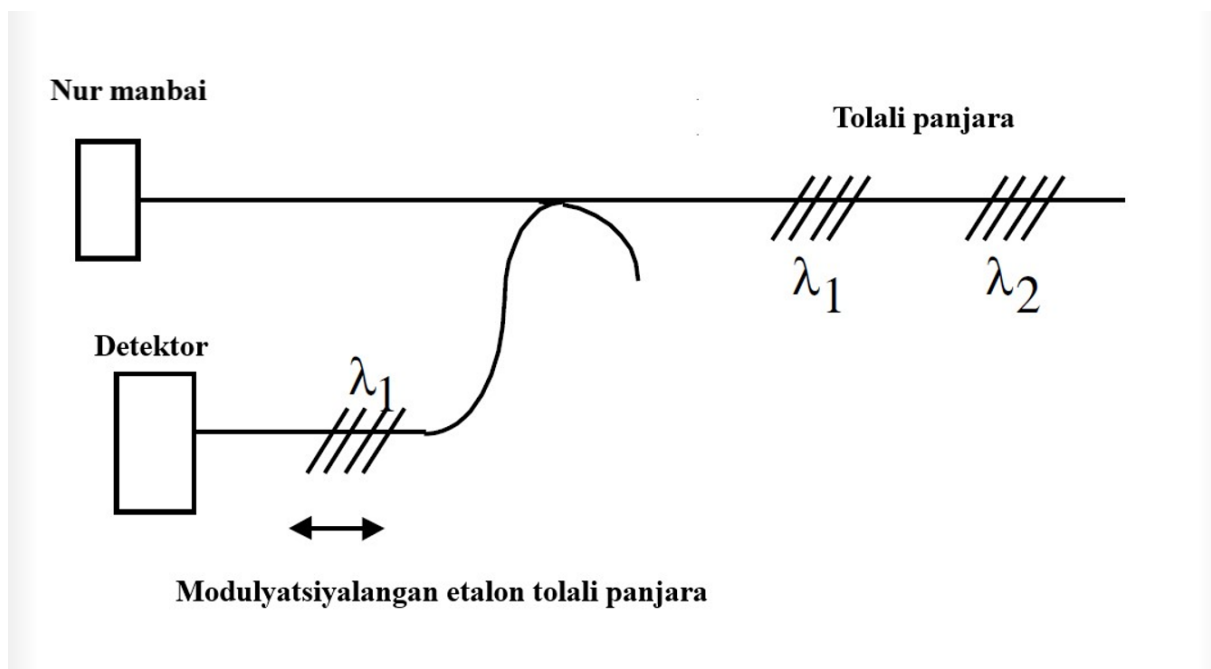
shunga o'xshash panjaralardan foydalanish va mos yozuvlar panjarasini faol panjaraga moslashtirish uchun moslashtirish orqali aniq qayta aloqa demodulyatsiyasi tizimini amalga oshirish mumkin.

Muqobil demodulyatsiya tizimi 6.23 - rasmda ko'rsatilgandek tolali havolalardan foydalanadi. Bitta tolani piezoelektrikka o'rnatish mumkin, ikkinchisi esa tolaning ikkinchi uchiga nisbatan harakat qildi. Tolalar orasidagi masofa tugaydi, shuningdek, ularning aks ettirish qobiliyati, o'z navbatida, 6.24 - rasmda ko'rsatilgan mos yozuvlar tolasining spektral filtrlash harakatini aniqlaydi.

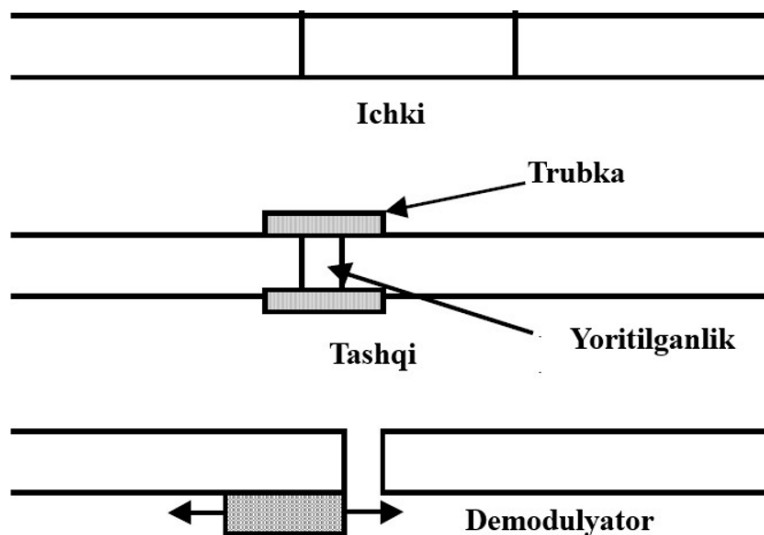
6.23 - rasmdagi tola standartlaridan kuchlanishni o'lchash uchun sensorlar sifatida ham foydalanish mumkin, chunki toladagi nometall orasidagi masofa ularning uzatish xususiyatlarini aniqlaydi. Ko'zgular to'g'ridan-to'g'ri tolaga bo'linib, uchini titan dioksidi bilan qoplash va keyin takrorlash orqali amalga oshirilishi mumkin. Muqobil yondashuv - tolaning uchlarini kesib, ularni havo bo'shlig'i kapillyar trubasiga kiritish. Ushbu ikkala yondashuv ham bir nechta o'rnatilgan optik tolali sensorlar talab qilinadigan ilovalar uchun o'rganilgan.

Ko'pgina ilovalar uchun bitta nuqta sensori etarli. Bunday hollarda toladan havola qilish mumkin. 6.25-rasmda bosim, harorat va sinishi indeksini o'lchash uchun o'rnatilgan bir qator standartlar ko'rsatilgan.

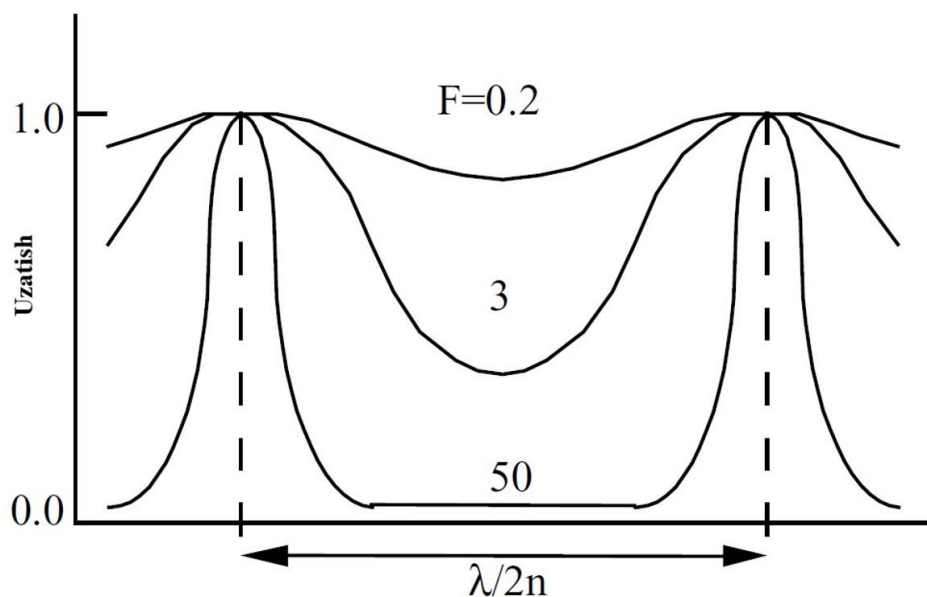
Bosim holatida diafragma burilish uchun mo'ljallangan. 15 dan 2000 psi gacha bo'lgan bosim diafragma diafragma qalinligini to'liq masshtabning taxminan 0,1% aniqligi bilan o'zgartirish orqali moslashtirilishi mumkin. Harorat uchun standart kremniy-kremniy dioksid interfeysi orqali hosil bo'ladi. 70 dan 500 K gacha bo'lgan harorat oralig'ini tanlash mumkin va taxminan 100 K diapazon uchun taxminan 0,1 K o'lchamlariga erishish mumkin. Suyuqliklarning sinishi indeksi uchun teshik ochiladi, bu esa suyuqlik oqimini diafragmani burilmasdan o'lchash imkonini beradi. Ushbu qurilmalar tijoratlashtirilgan va asboblari paketlari bilan sotiladi [34].



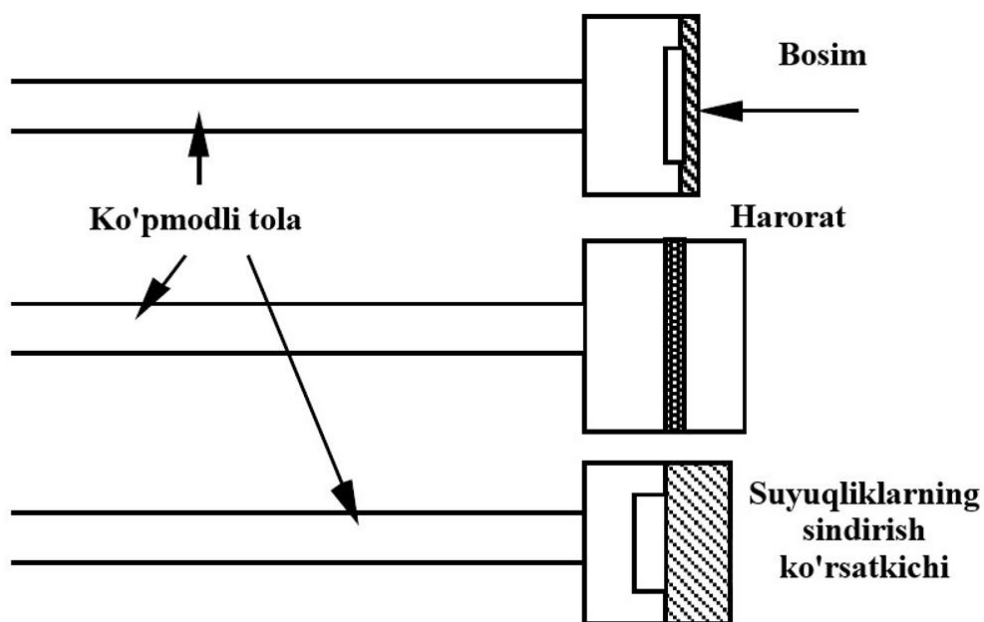
6.22-rasm. *Optik tolali demodulyatsiya tizimlari uchun Bunday vaziyatlarda havolani o‘zingiz qilishingiz va oxiriga panjara bilan biriktirishingiz mumkin. Juda yuqori aniqlikdagi spektr talab qilinadi.*



6.23-rasm. *Ichki tolali havolalar optik tolaga o‘rnatilishi mumkin bo‘lgan chiziqli aks ettiruvchi nometalldir. Tashqi tolaning etalonlari ikkita ko‘zgu tolasidan hosil bo‘ladi. Tola kapillyar nay bilan tugaydi. Spektral filtr yoki tolaga mos yozuvlar demodulyatori o‘zgaruvchan oraliqlarga ega bo‘lgan ikkita aks ettiruvchi tola uchlari tomonidan hosil bo‘ladi.*



6.24-rasm. Ko'zguning aks ettirilishi bilan ortib borayotgan aniqlikka nisbatan tola mos yozuvining uzatish xususiyatlari.



6.25-rasm. Yo'naltiruvchi gibril optik tolali sensorlar ko'pincha optik tolalarning uchlarida joylashgan va bitta atrof-muhit stimulgacha sezgirlikni optimallashtirish uchun sozlanishi mumkin bo'lgan mikro ishlov berilgan bo'shliqlardan iborat.

6.4. Interferometrik optik tolali sensorlar

Eng katta qiziqish uygʻotadigan yoʻnalishlardan biri yuqori texnologiyalarni rivojlantirish edi. interferometrik optik tolali sensorlarning ishlashi. Muhim saʼy-harakatlar amalga oshirildi. Sanyak interferometrlarida, halqali rezonatorlarda, Maxa-Zehnder va Maykelson interferometrlarida, shuningdek, ikki modli, polarimetrik, panjarali va etalon interferometrlarda amalga oshiriladi. Ushbu boʻlimda Sanyak, Maxa-Zehnder va Maykelson interferometrlari qisqacha muhokama qilinadi.

6.4.1. Sanyak interferometri

Sanyak interferometri asosan aylanishni oʻlchash uchun ishlatilgan. Halqali lazerli giroskoplar va mexanik giroskoplarning oʻrnini bosuvchi hisoblanadi. Bundan tashqari, akustika, tebranish va kuchlanish kabi asta-sekin oʻzgaruvchan hodisalar kabi vaqt oʻzgaruvchan effektlarni oʻlchash uchun ham foydalanish mumkin. Bir nechta interferometr konfiguratsiyasidan foydalangan holda, Sanyak interferometri buzilishning amplitudasi va joylashishini oʻlchashga qodir boʻlgan taqsimlangan sensor sifatida ishlatilishi mumkin.

Tijorat qiymati boʻyicha optik tolali sensorlarning yagona eng muhim qoʻllanilishi optik tolali giroskopdir. Optik tolali giroskop hech qanday harakatlanuvchi qismlarga ega boʻlmagan, misli koʻril-magan ishonchlilik va potentsial juda past narxga ega boʻlmagan qattiq holatdagi inertial sensori vaʼda qilgani juda erta tan olingan.

Optik tolali giroskopning potentsiali amalga oshirilmoqda, chunki butun dunyo boʻylab bir qancha ishlab chiqaruvchilar uni avtomobil navigatsiya tizimlarini, sunʼiy yoʻldosh antennalarini koʻrsatish va kuzatishni, shaharlararo samolyotlar va raketalar uchun inertial oʻlchash tizimlarini va zaxira boshqaruv tizimi sifatida qoʻllab-quvvatlash uchun katta miqdorda ishlab chiqarmoqda. Boeing 777. Ular, shuningdek, Comanche vertolyoti kabi kelajakdagi dasturlar uchun asos yaratmoqda va uzoq muddatli kosmik parvoz-larni qoʻllab-quvvatlash uchun ishlab chiqilmoqda. Optik tolali giroskoplardan foydalanadigan boshqa ilovalar orasida kon qazish,

tunnel qazish, RC vertolyotiga munosabatni boshqarish, tozalash robotlari, antennani ko'rsatish va kuzatish, shuningdek, uchuvchisiz yuk mashinalari va samolyot tashuvchilar uchun ishora mavjud.

Ikki turdagi optik tolali giroskoplar ishlab chiqilmoqda. Birinchi tur - dinamik diapazoni 1000 dan 5000 gacha bo'lgan (dinamik diapazon o'lchovsiz), shkala koeffitsiyenti aniqligi taxminan 0,5% (bu aniqlik raqami chiziqli bo'lmaganlik ta'sirini o'z ichiga olgan) ochiq konturli optik tolali giroskopdir va histerezis) va sezgirlik 0,01/soatdan 100/soatgacha va undan yuqori. Ushbu optik tolali giroskoplar odatda dinamik diapazon va chiziqlilik diqqat markazida bo'lmagan arzon narxlardagi ilovalar uchun ishlatiladi. Ikkinchi turdagi optik tolali yopiq pastadir. 10^6 dinamik diapazonga va 10 ppm yoki undan yuqori shkala faktor lineerligiga ega bo'lgan giroskop. Ushbu turdagi optik tolali giroskoplar, birinchi navbatda, yuqori burilish tezligiga ega va yuqori chiziqlilik va katta dinamik diapazonlarni talab qiladigan o'rta va yuqori aniqlikdagi navigatsiya ilovalari uchun mo'ljallangan.

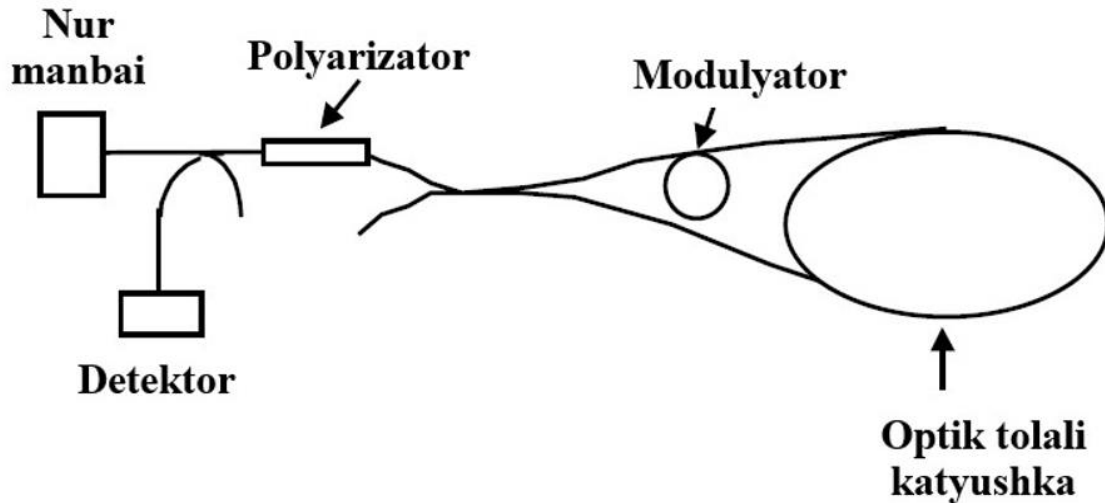
Asosiy ochiq konturli optik tolali giroskop rasmda ko'rsatilgan (26-rasm). Yorug'likni optik tolali I/U ulagichiga ulash uchun yorug'lik chiqaradigan diyot kabi keng polosali yorug'lik manbai ishlatiladi. Optik tolali gyroskoplardan foydalanadigan boshqa ilovalar orasida kon qazish, tunnel qazish, RC vertolyotiga munosabatni boshqarish, tozalash robotlari, antennani ko'rsatish va kuzatish, shuningdek, uchuvchisiz yuk mashinalari va samolyot tashuvchilar uchun ishora mavjud. Ikkinchi markaziy bog'lovchi ikkita yorug'lik nurini optik tolali g'altakga ajratadi, bu erda ular aylanishni ko'rsatadigan vaqt o'zgaruvchan chiqish signalini yaratish uchun ishlatiladigan modulyatordan o'tadi. Modulyator yaqinlashib kelayotgan yorug'lik nurlari orasidagi nisbiy fazalar farqini ko'rsatish uchun bobinning markazidan ofsetga ega.

Tola g'altakdan o'tgandan so'ng, ikkita yorug'lik nurlari qayta birlashtirilib, polarizatoridan o'tib, chiqish detektoriga yo'naltiriladi. Tolali giroskop soat yo'nalishi bo'yicha aylanganda, butun lasan joyidan siljiydi va yorug'lik optik tolali bobin orqali o'tish vaqtini biroz oshiradi. (Yorug'lik tezligi mos yozuvlar tizimiga nisbatan o'zgarmas ekanligini unutmang; shuning uchun lasanni aylantirish

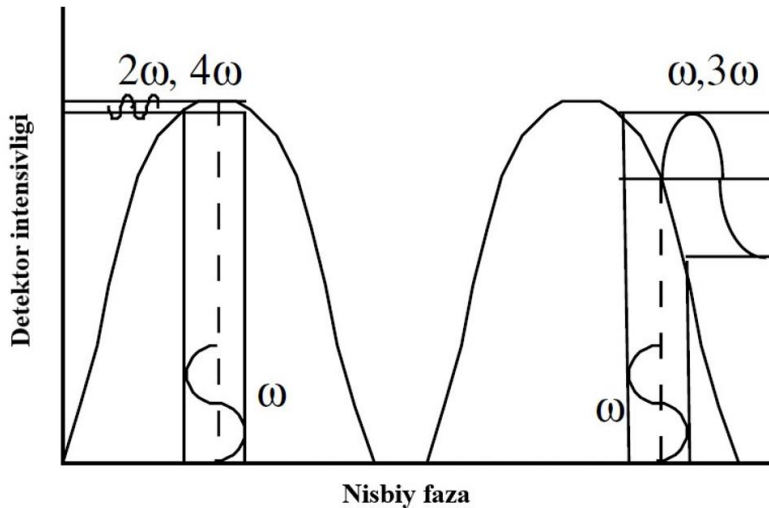
yorug‘lik qo‘llanmasining tashqi tomondan ko‘rinadigan tarzda yo‘l uzunligini oshiradi.) Shunday qilib, soat yo‘nalishi bo‘yicha tarqaladigan yorug‘lik nuri optik yo‘l uzunligidan o‘tishi kerak. tolali g‘altakning teskari yo‘nalishida harakatlanadigan soat sohasi farqli o‘laroq bir oz uzunroq. Ikki nur o‘rtasidagi aniq fazalar farqi aylanish tezligiga proporsionaldir.

Fazali modulyator halqasini tolali lasanga nisbatan siljitish orqali ikkita yorug‘lik nurlarining kelishidagi vaqt farqi kiritiladi va optimallashtirilgan demodulyatsiya signalini amalga oshirish mumkin. 6.27 - rasmning o‘ng tomoni buni ko‘rsatadi. Ilgaklar bo‘l-masa, ikkita yorug‘lik nurlari bir xil optik yo‘ldan boradi va 6.27 - rasmning chap egri chizig‘ida ko‘rsatilganidek, bir-biri bilan fazada bo‘ladi.

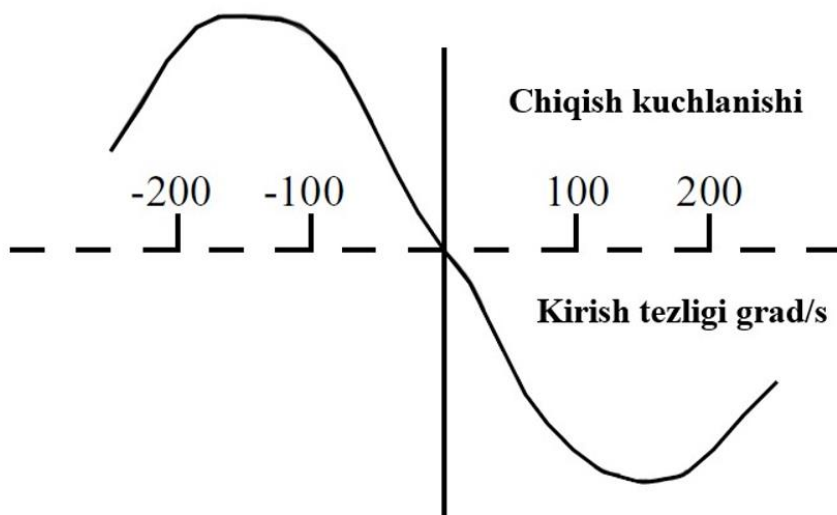
Natijada, chiqish aylanish tezligi birinchi yoki yuqori tartibli g‘alati harmonik sifatida ishlatilishi mumkin, natijada dinamik diapazon va chiziqlilik yaxshilanadi.



6.26-rasm. Ochiq konturli optik tolali giroskoplarning eng oddiy va arzon almashtirish variantidir. sensorlar. Ular dinamik diapazon va chiziqlilik cheklovlari cheklanmagan tijorat ilovalarida keng qo‘llaniladi.

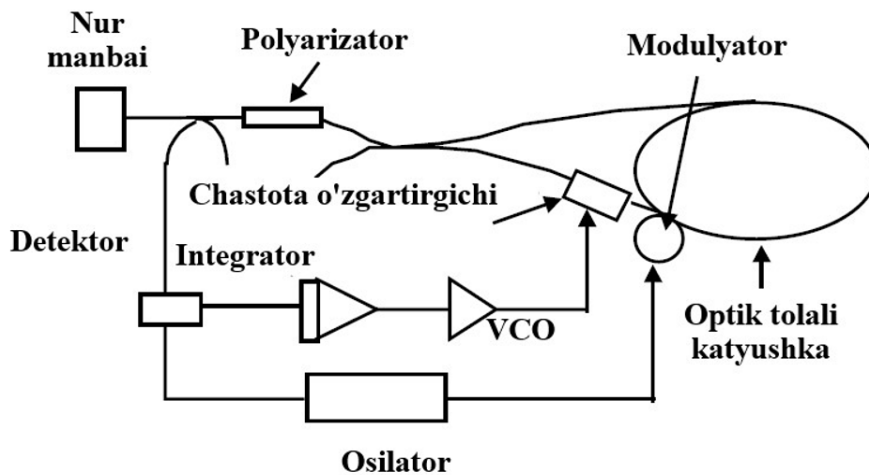


6.27-rasm. Ochiq konturli optik tolali giroskop asosan juft tartibli harmonikalarga ega. aylanish yoʻqligida. Qaytganda, ochiq halqali optik tolali giroskop gʻalati harmonik chiqishga ega boʻlib, uning amplitudasi aylanish tezligining kattaligini va fazasi yoʻnalishni koʻrsatadi.



6.28-rasm. Chiqish signalining gʻalati xarmonik komponentlaridan birining amplitudasi va fazasini oʻlchash yoʻli bilan olingan odatiy ochiq-pastakli optik tolali gyroskop chiqishi nol aylanish nuqtasi atrofida yaxshi chiziqlilik mintaqasiga ega boʻlgan sinusoidal chiqishni hosil qiladi.

Dinamik diapazon va chiziqlilikni yanada yaxshilashga yopiq konfiguratsiya yordamida erishish mumkin, bunda aylanish natijasida yuzaga kelgan faza siljishi teng va qarama-qarshi sun'iy ravishda o'rnatilgan faza almashinuvi bilan qoplanadi. Bunga erishishning bir usuli – chastota konvertorini pastdirga kiritish 6.29 - rasmda ko'rsatilgan.



6.29-rasm. Yopiq konturli optik tolali giroskoplar aylanma teskari tarqaladigan yorug'lik nurlarini muvozanatlash uchun qarama-qarshi tarqaladigan yorug'lik nurlari orasidagi sun'iy ravishda induktsiyalangan o'zaro bo'lmagan fazadan foydalanadi. induktsiyalangan faza siljishi. Ushbu optik tolali giroskoplar keng dinamik diapazonga va yuqori chiziqlilikka ega. qat'iy navigatsiya talablarini qo'llab-quvvatlash uchun talab qilinadi.

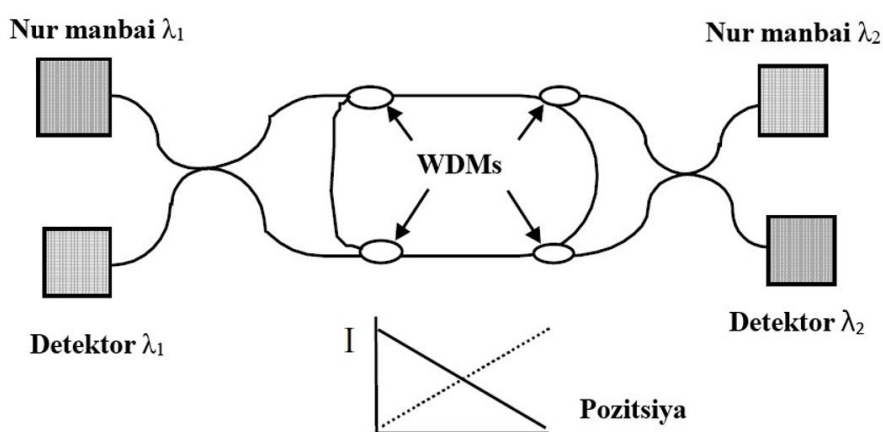
Tola halqasida tarqaladigan yorug'lik nurlarining nisbiy chastota farqi boshqarilishi mumkin, buning natijasida tolali bobin uzunligi va chastota siljishiga mutanosib ravishda aniq fazalar farqi paydo bo'ladi. 6.29-rasmda bu optik tolali g'altakdagi modulyator yordamida ω tezlikda faza almashinuvini yaratish orqali amalga oshiriladi.

Bobin aylanayotganda, ω dagi birinchi garmonik signal yuqorida ochiq halqali tolali giroskoplar uchun tavsiflanganga o'xshash aylanish tezligiga bog'liq bo'lgan faza bilan induklenir. Xato signali sifatida aylanish natijasida paydo bo'lgan birinchi harmonikadan foydalanib, birinchi harmonikani tegishli kuchlanishga birlashtirish

uchun detektor orqasidagi sinxron demodulyator yordamida chastota ofsetini sozlash mumkin. Ushbu kuchlanish kuchlanish bilan boshqariladigan osilatorga qo'llaniladi, uning chiqish chastotasi pastadirdagi chastota konvertori bilan oziqlanadi, shunda qarama-qarshi tarqaladigan yorug'lik nurlari orasidagi faza munosabatlari bir qiymatda o'rnatiladi.

Sanyak interferometridan boshqa o'lchovlar va o'lchov vazifalari uchun foydalanishingiz mumkin. Misollar 1 km masofada 100 mikron o'lchamlari bilan asta-sekin o'zgaruvchan kuchlanish o'lchovlarini, taxminan 2 nm to'lqin uzunligining spektroskopik o'lchovlarini va taxminan 10 ppm aniqlikdagi termal kengayish kabi optik tolali xarakteristikani o'z ichiga oladi. Ushbu ilovalarning har birida Sanyak pallasida chastota konvertorlari teskari tarqaladigan yorug'lik nurlari orasidagi boshqariladigan chastota siljishlarini olish uchun ishlatiladi.

Sanyak interferometriga asoslangan optik tolali sensorlarning yana bir klassi tovush kabi tez o'zgaruvchan atrof-muhit signallarini o'lchash uchun ishlatilishi mumkin. 6.30 - rasmda taqsimlangan akustik sensor sifatida foydalanish mumkin bo'lgan ikkita o'zaro bog'langan Sanyak halqalari ko'rsatilgan. 6.30 - rasmdagi WDM (to'lqin uzunligi bo'yicha multiplekser) ikkita to'lqin uzunliklarini bu holda λ_1 va λ_2) bir-biriga bog'laydigan yoki ularni ajratib turadigan qurilmani ko'rsatadi.



6.30-rasm. Sanyak interferometri signaliga asoslangan taqsimlangan optik tolali akustik sensor. halqalar uzunligi ko'p kilometr bo'lishi mumkin bo'lgan optik tola bo'ylab joylashuv va amplituda o'lchash imkonini beradi.

Ushbu Sanyak akustik sensorining sezgirligi signalning joylashishiga bogʻliq. Agar signal halqa markazida boʻlsa, daromad nolga teng, chunki ikkala qarama-qarshi yorugʻlik nurlari bir vaqtning oʻzida halqa markaziga keladi. Signal markazdan uzoqlashganda, quvvat kuchayadi. Ikkita Sanyak halqalari bir-birining ustiga tushganda, 6.30 - rasmda boʻlgani kabi, ikkita chiqish signal amplitudasini koʻrsatish uchun jamlanishi va pozitsiyani aniqlash uchun korrelyatsiya qilinishi mumkin. Joylashuv va amplitudani aniqlash uchun interferometrlarning bir nechta boshqa kombinatsiyalari sinab koʻrildi va birinchi xabar qilingan muvaffaqiyat Maxa-Zehnder va Sanyak interferometrlarining kombinatsiyasi edi.

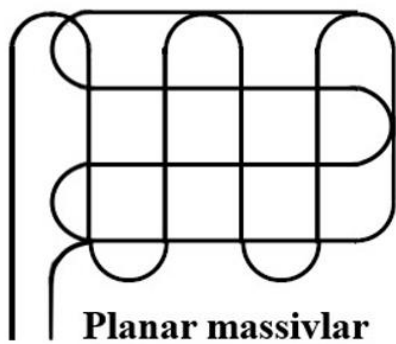
6.4.2. Maxa-Zehnder va Maykelson interferometrlari

Xususan, Max-Zehnder va Maykelson interferometrlari kabi barcha tolali interferometrlarning katta afzalliklaridan biri shundaki, ular juda moslashuvchan geometriyaga va yuqori sezuvchanlikka ega boʻlib, 6.31 - rasmda koʻrsatilganidek, bu yuqori samarali matritsalar va elementlarning keng doirasini qoʻllash imkonini beradi. 6.32-rasmda Maxa-Zehnder interferometrining asosiy elementlari koʻrsatilgan, ular yorugʻlik manbai/ ulash moduli, konvertor va homodindir. demodulyator. Yorugʻlik manbai moduli odatda uzoq kogerent izolyatsiyalangan lazer diodidan, ikkita yorugʻlik nurini ishlab chiqarish uchun nur ajratgichdan va nurlarni ikkita konvertor oyoqqa ulash vositasidan iborat. Transduser atrof-muhitdan bitta yorugʻlik nurini ajratish orqali atrof-muhitga taʼsirni his qilish uchun tuzilgan;

Transduserga atrof-muhit taʼsiridan foydalanish ikkita yorugʻlik nurlari orasidagi optik yoʻl uzunligidagi farqni keltirib chiqaradi.

Odatda, gomodin demodulyatori optik yoʻl uzunligidagi farqni aniqlash uchun ishlatiladi (turli xil geterodin sxemalari ham qoʻllanilgan).

Maxa-Zehnder interferometrining asosiy muammolaridan biri shundaki, sezuvchanlik interferometrning ikki oyogʻidagi yorugʻlik nurlarining nisbiy fazasiga qarab oʻzgaradi (6.33 - rasm). Signalni yechishning bir yoʻli soʻnish muammosi oyoqlardan biriga piezoelektrik tolali yoygichni kiritish va tegmaslik sezuvchanlik uchun ikki oyoqning nisbiy yoʻl uzunligini sozlashdir.



Planar massivlar



Ko'p yo'nalishli elementlar

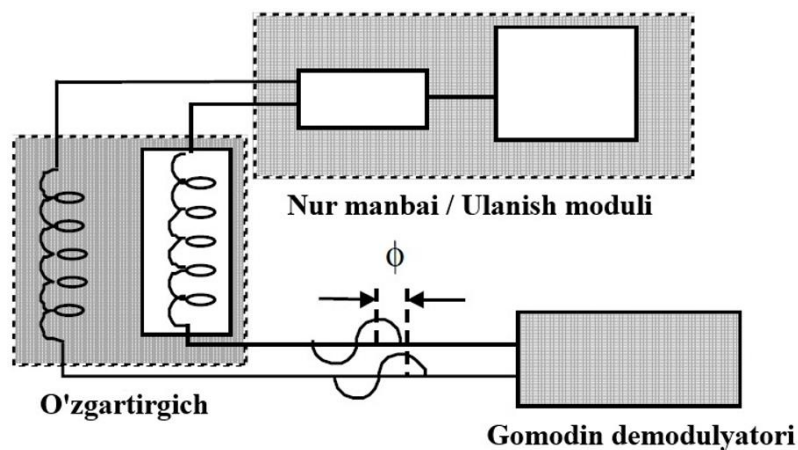


Chiziqli massivlar

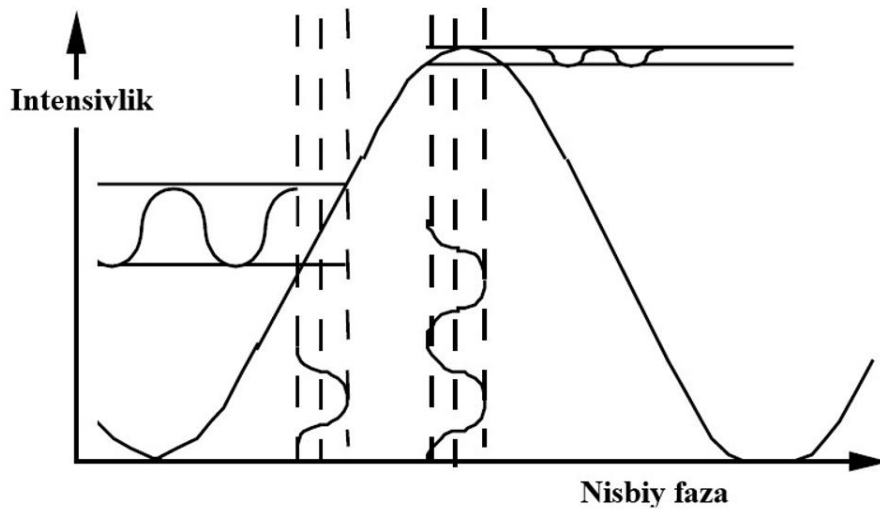


Gradiyentli elementlar

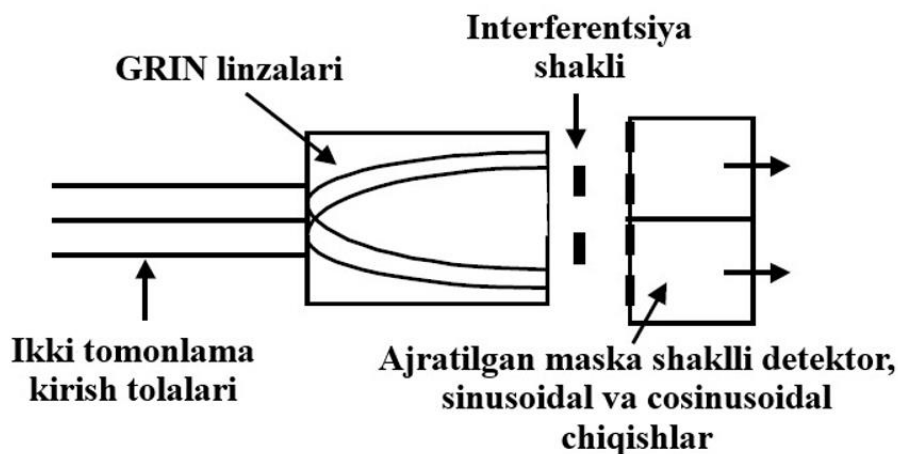
6.31-rasm. Interferometrik optik tolali sensorli transduserlarning moslashuvchan geometriyasi. maxsus maqsadli sensorlarni moslashtirgan dizaynerlar uchun jozibador bo'lgan optik tolali sensorlarning xususiyatlaridan biri.



6.32-rasm. Optik tolali Maxa-Zehnder interferometrining asosiy elementlari quyidagilardir: yorug'lik nurini ikki yo'lga bo'lish uchun yorug'lik manbai moduli, ikkita yorug'lik nurlari orasidagi atrof-muhitga bog'liq bo'lgan differensial optik yo'l uzunligi uchun ishlatiladigan transduser va o'lchaydigan demodulyator. natijada ikkita yorug'lik nurlari orasidagi yo'l uzunligidagi farq.



6.33-rasm. *Kompensatsion demodulyatsiya usullari mavjud bo‘lganda, Maxa-Zehnder nurining sezgirligi ikkita yorug‘lik nurlari orasidagi nisbiy fazaga bog‘liq. Bu yorug‘lik nurlari to‘liq fazada yoki fazadan tashqarida bo‘lganda past darajaga tushadi.*



6.34-rasm. *Kvadrat demodulyatsiyasi signalni yo‘qotish muammolaridan qochadi. Bu erda ko‘rsatilgan usul ikkita nurni ajratuvchi detektorda ko‘rsatiladigan interferentsiya naqshiga kengaytiradi.*

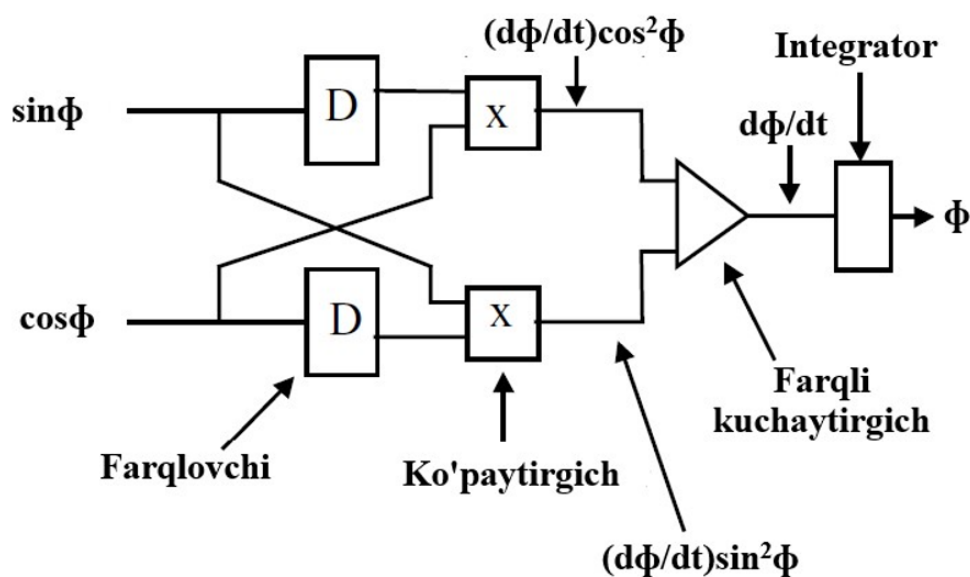
Boshqa yondashuv yuqorida muhokama qilingan optik tolali massiv sensorlari bilan bir xil kvadrat yechimga ega.

6.34 - rasmda gomodin demodulyatori ko'rsatilgan. Demodulyator ikkita parallel optik tolalardan iborat bo'lib, ular konvertordan yorug'lik nurlarini oziqlantiradi, gradiyent indeksli (GRIN) linzaga. Gradient indeksli linzalarning chiqishi nurning ikkita kirish yorug'lik manbalarining nisbiy fazasi bilan "aylanuvchi" interferensiya naqshidir. Agar ajratish detektori fotoniqobi bilan ishlatilsa, bo'linish detektori oldidagi niqobdagi noaniq va shaffof chiziqlar juftligi interferensiya naqshining davriyligiga mos keladi va detektor yuzlarida 90 fazadan tashqarida bo'ladi, natijalar sinus bo'ladi. va kosinus chiqishi.

Ushbu chiqish signallari 6.35 - rasmda ko'rsatilganidek, kvadrat demodulyatsiya elektroniği yordamida qayta ishlanishi mumkin. Natija fazalar farqining bevosita o'lchovidir.

Ushbu usullarda qo'shimcha takomillashtirishlar amalga oshirildi; xususan, 6.36-rasmda ko'rsatilgan tashuvchining fazasini yaratish yondashuvi. Lazerli diod joriy modulyatsiyalangan, buning natijasida lazer diodining chiqish chastotasi ham chastotali modulyatsiyalangan. Maxa-Zehnder interferometri shunday tuzilgan bo'lsa, uning mos yozuvlar va signal shoxlari uzunligi bo'yicha farqlanadi. ($L_1 - L_2$), keyin ikkita yorug'lik nurlari orasidagi aniq fazalar farqi $2\pi F(L_1 - L_2) n/c$, bu erda n - optik tolaning sinishi indeksi va c -yorug'likning vakuumga aylanish tezligi. Agar oqim o tezligida modulyatsiyalangan bo'lsa, u holda nisbiy fazalar farqlari shu tezlikda modulyatsiya qilinadi va detektorning chiqishi toq va juft garmonik bo'ladi. Tashuvchi signallari ω va 2ω bir-biriga nisbatan kvadraturada bo'lib, 6.35-rasmda ko'rsatilganlarga o'xshash elektronika yordamida qayta ishlanishi mumkin.

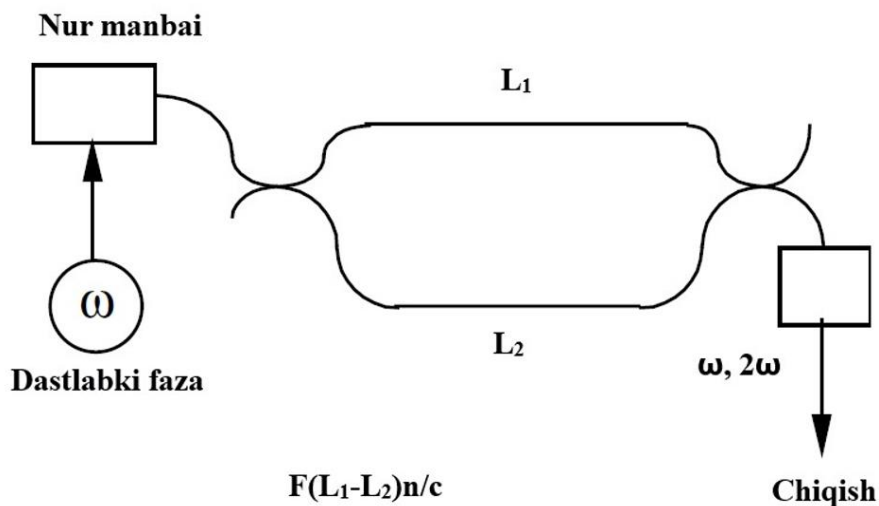
6.37 - rasmdagi Maykelson interferometri ko'p jihatdan Maxa-Zehnderga o'xshaydi. Asosiy farq shundaki, orqa ko'rinish ko'zgulari interferometrning oyoqlari uchlarida joylashgan. Bu juda yuqori orqa darajaga olib keladi. yorug'lik manbasiga aks etadi, bu esa dastlabki tizimning ish faoliyatini sezilarli darajada yomonlashtiradi. Diodli nasos bilan takomillashtirilgan YAG (ittrium alyuminiy granatasi) dan foydalanish



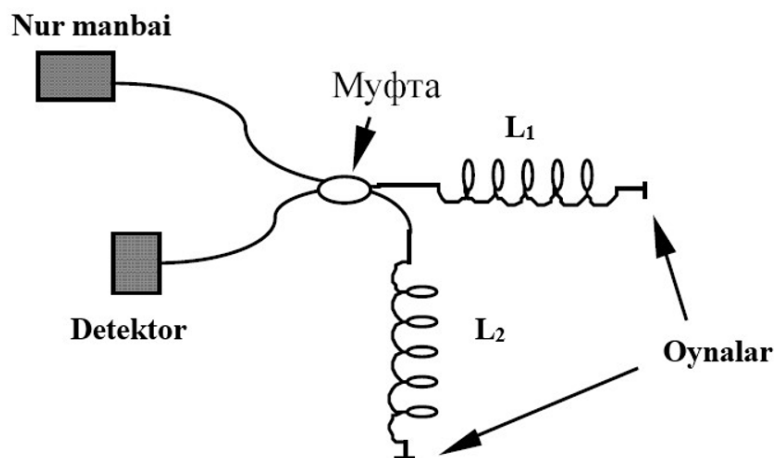
6.35-rasm. Kvadrat demodulyatsiya elektroni sinusoidal chiqish signallarini ajratish detektoridan oladi va ularni o'zaro ko'paytirish va differentsiatsiya yordamida to'g'ridan-to'g'ri fazalar farqini hosil qilish uchun birlashtirilishi mumkin bo'lgan chiqishga aylantiradi.

Yaxshilangan diodli nasosli YAG (ittriy alyuminiy granat) halqali lazerlaridan yorug'lik manbalari sifatida foydalanish bu muammolarni asosan hal qildi. Polarizatsiya pasayishini bartaraf etish uchun yaqinda joriy qilingan kompyuter ko'zgulari bilan birgalikda Maykelson ushbu komponentlarning nisbatan yuqori joriy narxiga bardosh bera oladigan tizimlar uchun muqobil sifatida paydo bo'ladi.

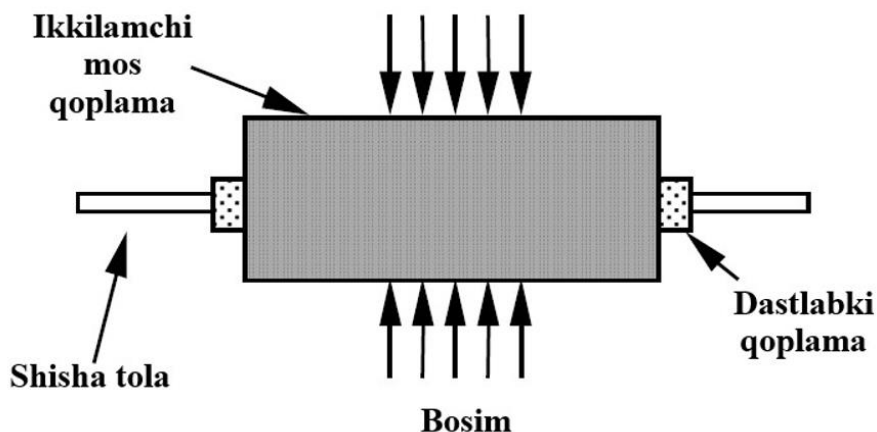
Samarali Maxa-Zehnder yoki Maykelson usulini, tolali sensorni amalga oshirish uchun tegishli transduserni loyihalash kerak. Bunga akustik, elektr yoki magnit maydon reaksiyasi uchun optimallashtirilishi mumkin bo'lgan tolali qoplama kiradi. 6.38 - rasmda asosiy va ikkilamchi qatlamlardan tashkil topgan ikki komponentli qoplama ko'rsatilgan. Ushbu qatlamlar bosim to'lqinlariga optimal javob berish va bosim to'lqini muhiti va optik tola o'rtasidagi minimal akustik nomuvofiqlik uchun mo'ljallangan.



6.36-rasm. Fazali tashuvchining usuli modullashtirilgan faza, birinchi va ikkinchi garmonik chiqishni hosil qilish uchun uzunligi o'zgargan Maxa-Zehnder interferometri bilan birgalikda ishlatiladigan sinusoidal chastotali modulyatsiyalangan yorug'lik manbai tomonidan induksiya qilingan juft va toq harmonikalarni kuzatish orqali kvadratura komponentlarini aniqlaydi. sinus va kosinus chiqishlariga mos keladigan signal.

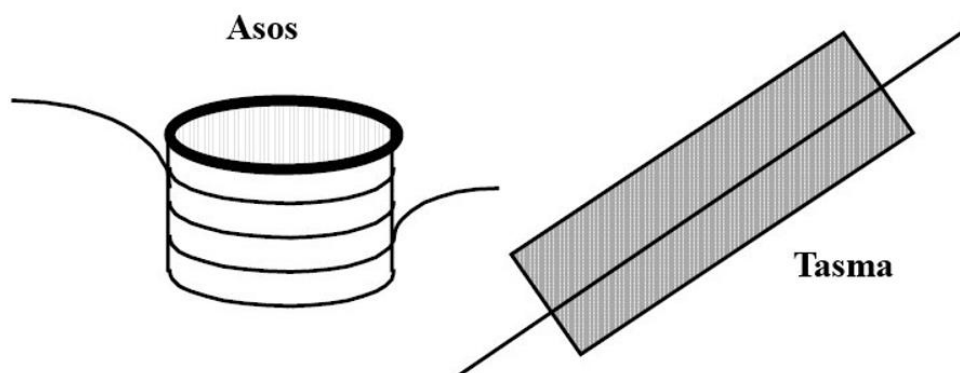


6.37-rasm. Optik tolali Maykelson interferometri ikkita ko'zgu tolali uchidan iborat bo'lib, Maxa-Zehnder bilan bog'liq ko'plab demodulyatsiya usullari va usullaridan foydalanishi mumkin.

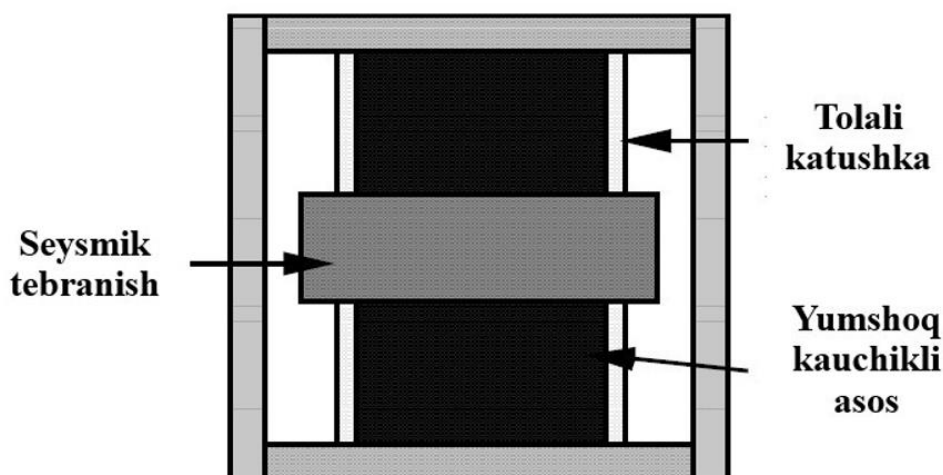


6.38-rasm. Tolali sensorlarning sezgirligini optimallashtirish uchun qoplamalardan foydalanish mumkin. Masalan, suv va shisha toladagi akustik bosim to'liqlari o'rtasidagi akustik nomuvofiqlikni minimallashtirish uchun optik tolaga yumshoq va qattiq qoplamalardan foydalanish.

Ushbu qoplangan tolalar ko'pincha elastik mandrellar yoki materiallarning chiziqlari bilan birgalikda ishlatiladi, 6.39 - rasmda ko'rsatilgan. Optik yo'l uzunligidagi atrof-muhitga ta'sir qiluvchi farqni kuchaytiradi.



6.39-rasm. Ekologik sezgir materialning ichi bo'sh mandrellari va chiziqlariga biriktirilgan optik tolali tolali sensorlar tomonidan aniqlash uchun atrof-muhit signallarini mexanik ravishda kuchaytirish uchun ishlatiladigan keng tarqalgan texnikadir.



6.40-rasm. *Atrof-muhit signallarini kuchaytirish uchun differentsial usullar qo'llaniladi. Bunday holda, seysmik tebranish sensori ikkita tolali g'altak orasiga joylashtirilgan va mahkamlangan korpusga o'ralgan massadan iborat.*

Ko'pgina hollarda, transduserning mexanik dizayn detallari yaxshi ishlash uchun juda muhim, masalan, rasmdagi seysmik tebranish sensori (6.40-rasm). Odatda, Maxa-Zehnder va Maykelson interferometrlari bir birlik uchun 10^{-6} radiandan yuqori sezuvchanlik bilan sozlanishi mumkin. Gertsning kvadrat ildizi. Optik qabul qiluvchilar uchun shovqin darajasi chastota bilan kamayadi. Bu hodisa gertsda kvadrat ildiz boshiga radianlarda spetsifikatsiyalarga olib keladi. Misol uchun, 1 Gts chastotada kvadrat ildiz gerts uchun 10^{-6} radian sezgirlik 10^{-6} radian sezgirligini bildiradi, 100 Gts da sezgirlik 10^{-7} radianni tashkil qiladi. Masalan, gertsning kvadrat ildiziga 10^{-6} radian sezgirligi 1 metr uzunlikdagi transduser uchun 1 Gts tarmoqli kengligi bilan 1/6 mikrondan kamroq uzunlikning o'zgarishiga yo'l qo'yilishi mumkinligini anglatadi. Ushbu sensorlarning eng yaxshi ishlashi odatda sensorlar bilan bog'liq muammolar, shuningdek, foydali past chastotali sezgirlikni cheklaydigan harorat o'zgarishi, tebranish va akustika tufayli atrof-muhit signallarini qabul qilish tufayli yuqori chastotalarda erishiladi.

6.5. Multiplekslash va tarqalgan zondlash

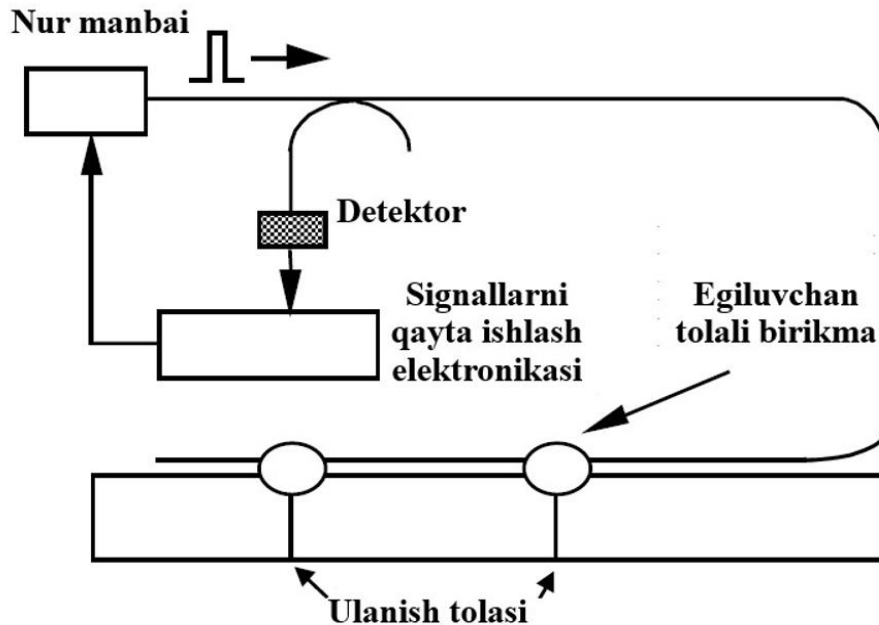
Ko'pgina ichki va tashqi sensorlar ko'paytirilishi mumkin, bu esa bitta optik tolali kabel liniyasi bilan ko'p sonli sensorlarni qo'llab-quvvatlash imkonini beradi. Eng ko'p ishlatiladigan usullar vaqt, chastota, to'lqin uzunligi, kogerentlik, qutblanish va fazoviy multiplekslashdir.

Vaqtning bo'linish multipleksatsiyasi yorug'likni optik tolaga yo'naltiruvchi impulsli yorug'lik manbasidan foydalanadi va sensorlar orasidagi farqni aniqlash uchun vaqtning kechiktirishni tahlil qiladi. Ushbu uslub odatda kuchlanish, harorat yoki boshqa parametrlarni o'lchashni to'playdigan taqsimlangan sensorlarni qo'llab-quvvatlash uchun ishlatiladi. 6.41 - rasmda trubka bo'g'inlarida mikrobükme sezgir hududlardan foydalangan holda vaqtga bo'linadigan multiplekslangan tizim ko'rsatilgan.

Quvur bo'g'inlari stressga duchor bo'lganligi sababli, mikrobükme yo'qotishlari ortadi va bu yo'qotishlar bilan bog'liq vaqtning kechiktirish noto'g'ri ulanishlarni aniqlash imkonini beradi. Tolaning butun uzunligi mikrobendlariga va Rayleigh rellariga sezgir bo'lishi mumkin. asosan kuchlanishni o'lchaydigan taqsimlangan sensorni qo'llab-quvvatlash uchun ishlatiladigan qochqinning yo'qolishi. Tarqalgan sezishni qo'llab-quvvatlash uchun optik tola bo'ylab tarqaladigan optik impulslarning tarqalishining boshqa turlari ishlatilgan, xususan harorat sensorlari uchun Raman tarqalishi York Technology va Hitachi tomonidan tijratlashtirilgan. Ushbu qurilmalar taxminan 5 daqiqalik integratsiya vaqtidan foydalangan holda 1 km sensor uchun 1 m fazoviy o'lchamlari bilan taxminan 1°C harorat o'zgarishini aniqlay oladi. Brillion tarqalishi laboratoriya tajribalarida kuchlanish va harorat o'lchovlarini tasdiqlash uchun ishlatilgan.

Chastotani bo'lish multiplekslash tizimi 6.42 - rasmda ko'rsatilgan. Ushbu misolda lazerli diod chastotada chayqalib, uni joriy diskni arra tishiga aylantiradi. Ketma-ket Maxa-Zehnder interferometrlari uzunlik o'sishi ($L - L_1$), ($L - L_2$) va ($L - L_3$) bilan bir-biridan sezilarli darajada farqlanadi, shuning uchun har bir sensorning

tashuvchi chastotasi (dF/dt) ($L - L_n$) osongina ajratiladi. detektorning chiqish signalini elektron filtrlash orqali boshqa sensorlardan.



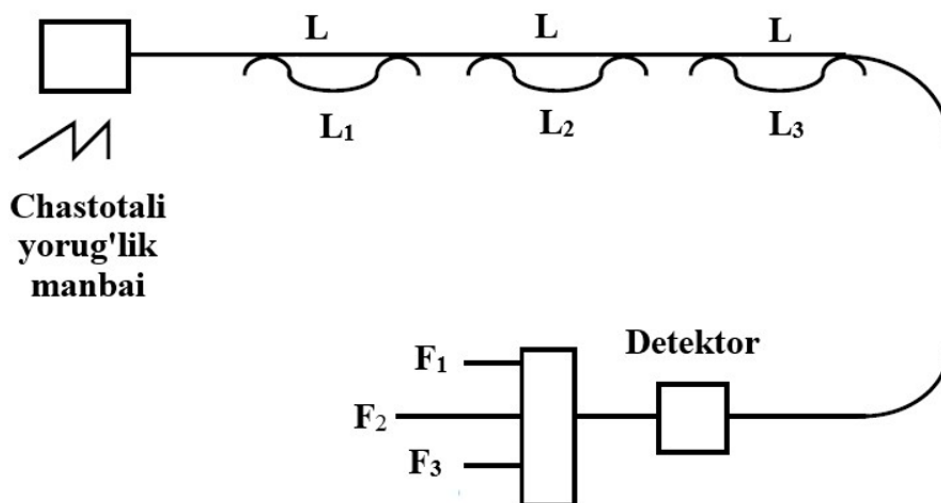
6.41-rasm. Quvur bo‘ylab kuchlanishni aniqlash uchun vaqtni bo‘linish multiplekslash usullaridan mikrobending sezgir optik tolalar bilan birgalikda foydalanish mumkin.

To‘lqin uzunligini bo‘linish multipleksatsiyasi eng yaxshi ko‘p plekslash usullaridan biridir, chunki u optik quvvatdan juda samarali foydalanadi. Bundan tashqari, u boshqa multiplekslash tizimlariga osonlik bilan integratsiyalangan bo‘lib, bitta optik tolali aloqada ko‘p sonli sensorlarni qo‘llab-quvvatlash imkoniyatiga ega. 6.43 - rasmda yorug‘lik chiqaradigan diod kabi keng polosali yorug‘lik manbai yorug‘lik manbasi spektrining pastki to‘plamlari bo‘lgan to‘lqin uzunligi diapazonlarida signallarni aks ettiruvchi optik tolali sensorlar seriyasiga ulangan tizim ko‘rsatilgan. Sensorlardan signallarni alohida detektorlarga ajratish uchun panjara yoki prizma kabi dispersiv element ishlatiladi.

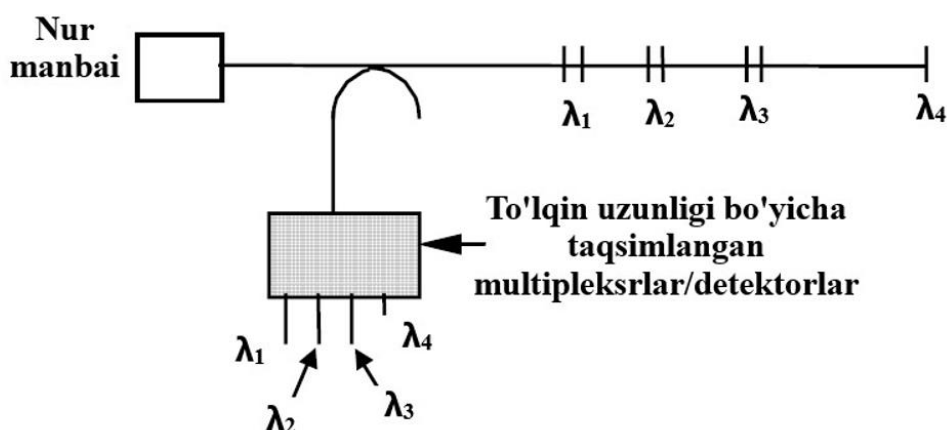
Yorug‘lik manbalari spektriga qarab turli xil kogerent uzunliklarga ega bo‘lishi mumkin. Maxa-Zehnder interferometrlaridagi mos yozuvlar va signal shoxlari orasidagi va ketma-ket sensorlar

orasidagi ofsetlardan kichikroq kogerentlik uzunligiga ega yorug'lik manbalaridan foydalangan holda, 6.44 - rasmda ko'rsatilganga o'xshash kogerent-multiplekslangan tizim. Signal sensor signallari qayta ishlanishi uchun har bir detektor oldiga muvozanatlashtiruvchi interferometrni qo'yish orqali chiqariladi. Optik quvvatning kamligi va optikani to'g'ri sozlashning qo'shimcha qiyinchiliklari tufayli kogerent multiplekslash vaqt, chastota va to'lqin uzunligiga bo'linish multipleksatsiyasi kabi tez-tez ishlatilmaydi. Bu hali ham potentsial kuchli texnika bo'lib, optik komponentlarning ishlashi va mavjudligi takomillashib borishi sababli kengroq qo'llanilishi mumkin, ayniqsa, optik yo'l uzunligi farqlarini boshqarish nisbatan oson bo'lgan integratsiyalangan optik chiplar sohasida.

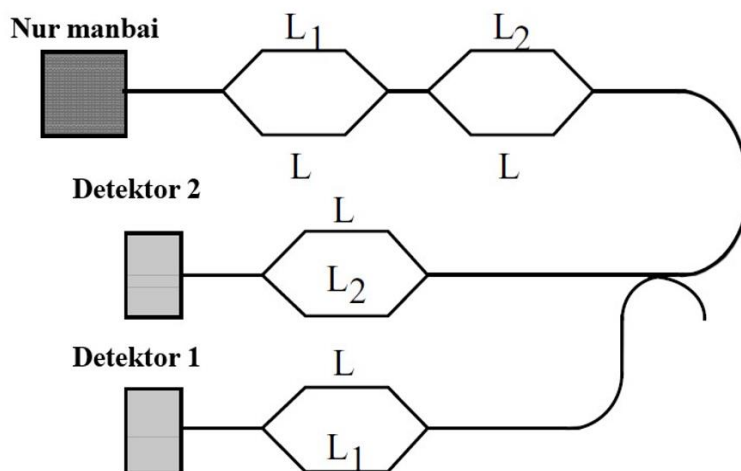
Eng kam qo'llaniladigan usullardan biri polarizatsiya multipleksiyasidir. Bunday holda, g'oya o'ziga xos qutblanish holatlari bilan yorug'likni ishlatish va har bir holatni izolyatsiya qilishdir. Mumkin bo'lgan dastur 6.45 - rasmda ko'rsatilgan, bu erda yorug'lik ortogonal polarizatsiyaning ikkita modi bilan chiqariladi; har bir o'q bo'ylab optik tolali va shaffof bo'lmagan sensorlar o'rnatildi. Ikki signalni ajratish uchun polarizatsiya nurlarini ajratuvchi vosita ishlatiladi.



6.42-rasm. Chastotani taqsimlash ko'paytmasi bir qator optik tolali sensorlarni belgilash uchun ishlatilishi mumkin. Bunday holda, Maxa-Zehnder interferometrlari chiqish signali harakatlanadigan tashuvchi chastotasi bilan ko'rsatiladi.



6.43-rasm. Chastotani taqsimlash ko'paytmasi bir qator optik tolali sensorlarni belgilash uchun ishlatilishi mumkin. Bunday holda, Maxa-Zehnder interferometrlari chiqish signali harakatlanadigan tashuvchi chastotasi bilan ko'rsatiladi.



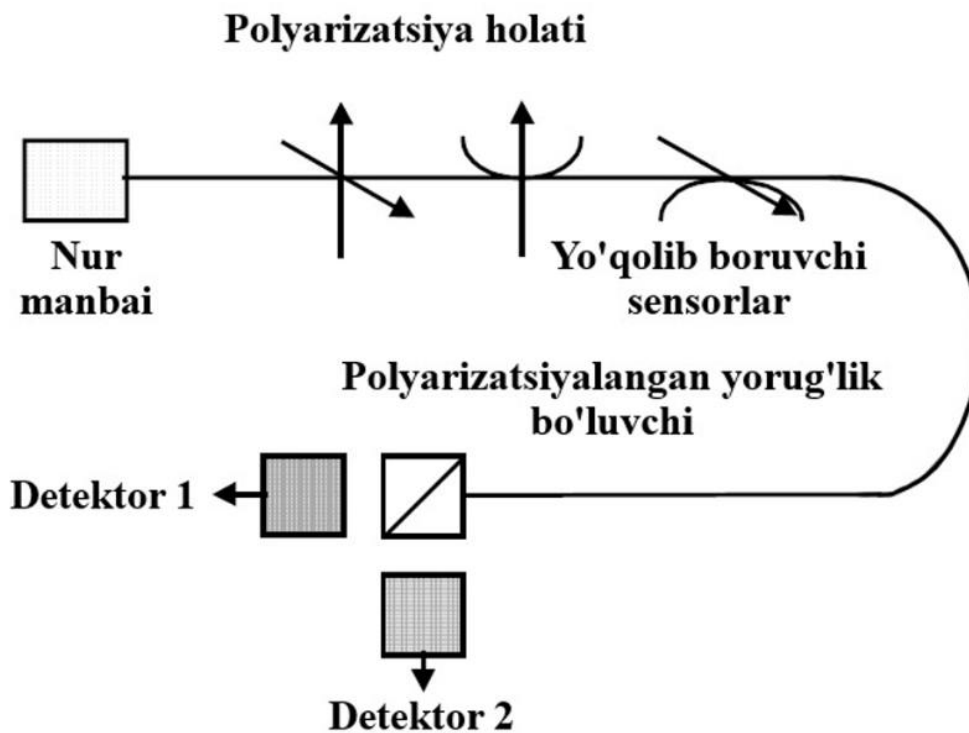
6.44-rasm. Past kogerentli yorug'lik manbasi ikki Maxa-Zehnder interferometrlarini egilish uzunligi va muvozanatlashtiruvchi interferometrlardan foydalangan holda multiplekslash uchun ishlatiladi.

So'nggi paytlarda polyarizatsiyaga asoslangan taqsimlangan tolali sensorlarni yaratish uchun polarizatsiyani saqlaydigan tolani vaqt domeni texnikasi bilan birgalikda ishlatish qiziqish uyg'otdi. Bu bitta tolali havolada bir nechta o'lchash variantlarini taklif qilishi mumkin.

Nihoyat, katta sensorni yaratish uchun fazoviy usullardan foydalanish mumkin. nisbatan kam sonli kirish va chiqish optik tolalardan foydalanadigan massivlar. 6.46 - rasmda 1 dan 2 gacha bo'lgan sensorlar majmuasi ko'rsatilgan, unda ikkita yorug'lik manbalari turli chastotalarda amplituda modulyatsiya qilinadi. Ikki sensor bir xil chastotada, ikkinchisi esa yana ikkitasi ishlaydi. Sensorlarning signallari ikkita chiqish tolasiga chiqariladi, ularning har biri turli chastotalarda ikkita sensordan signal uzatadi.

Bu turdagi multiplekslash osonlik bilan m kirish tolasiga uzaytiriladi va n ta chiqish tolasiga 6.47 - rasmdagi kabi $m \times n$ ta sensor massivlarini hosil qiladi.

Ushbu multiplekslash usullarining barchasi juda katta massivlarni hosil qilish uchun bir-biri bilan birgalikda ishlatilishi mumkin.



6.45-rasm. Polarizatsiya multipleksatsiyasi polarizatsiyani saqlaydigan optik tolaning o'zaro qutblanish holatlariga kirish huquqiga ega bo'lgan ikkita optik tolali sensorni qo'llab-quvvatlash uchun ishlatiladi.

6.6. Qo'llanilishi

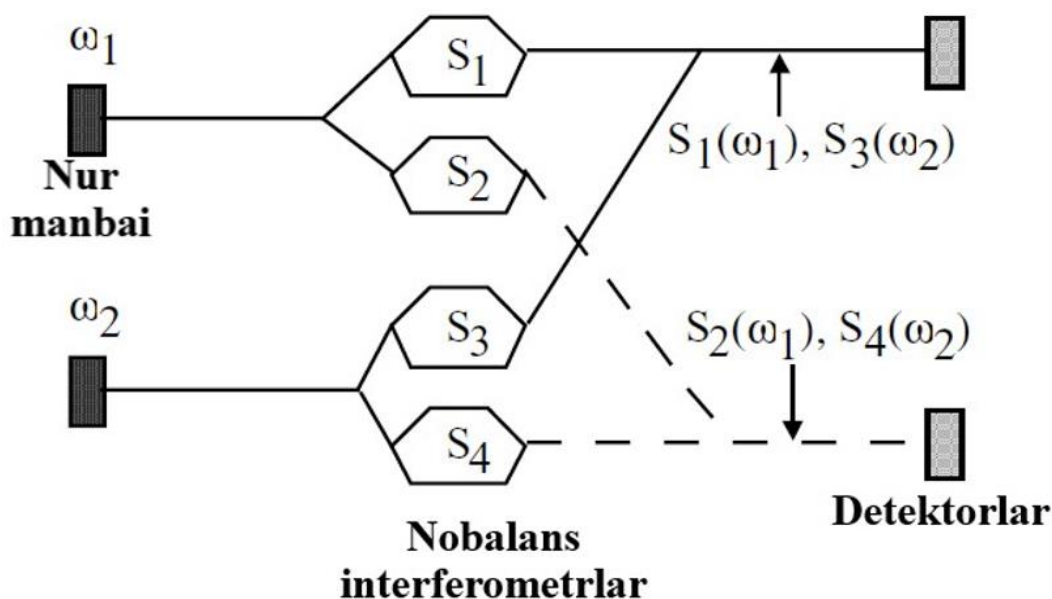
Optik tolali sensorlar ikkita asosiy sohada ishlab chiqilgan va qo'llaniladi. Birinchisi, mavjud sensorlarni to'g'ridan-to'g'ri almash-tirish bo'lib, bu yerda tolali sensor oxirgi foydalanuvchiga sezilarli darajada yaxshilangan ishlash, ishonchlilik, xavfsizlik va / yoki narxni taklif qiladi. Ikkinchi yo'nalish - yangi bozorlarda optik tolali sensorlarni ishlab chiqish va joriy etish.

To'g'ridan-to'g'ri almashtirishda, iste'molchi uchun optik tolali sensorning o'ziga xos qiymati eski texnologiyani almashtirish uchun etarlicha yuqori bo'lishi kerak. Bu ko'pincha mijozga tanish bo'lgan texnologiyani almashtirishni o'z ichiga olganligi sababli, yaxshi-lanishlar sezilarli bo'lishi kerak.

Ishlab chiqarishda jarayonni qo'llab-quvvatlash uchun optik tolali sensorlar ishlab chiqilgan. nazorat qilish. Ko'pincha bu sensorlar foydasiga argumentlar ekologik barqarorlik va xavfsizlikni yaxshilash, ayniqsa, elektr zaryadsizlanishi xavfli bo'lishi mumkin bo'lgan joylarda.

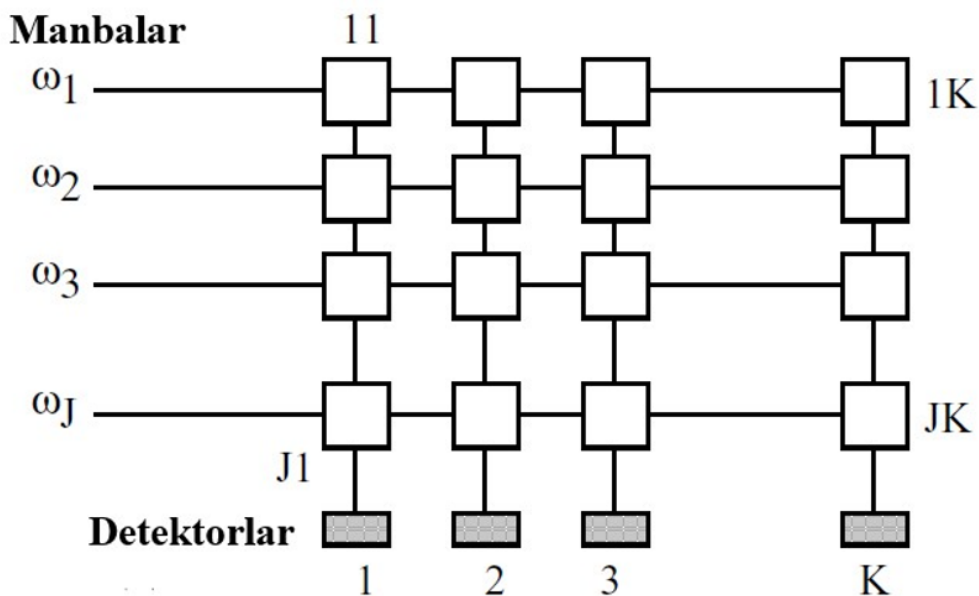
Optik tolali sensorlarni ommaviy ishlab chiqarishning yana bir sohasi bu tibbiyot sohalaridir, bu yerda ular qon gazining parametrlari va dozalash darajasini o'lchash uchun ishlatiladi. Ushbu sensorlar butunlay passiv bo'lgani uchun ular bemorga elektr toki urishi xavfini tug'dirmaydi va ularning o'ziga xos xavfsizligi nisbatan tez qabul qilinishiga olib keldi.

Avtomobil sanoati, qurilish sanoati va boshqa an'anaviy optik tolali sensorlar sensor foydalanuvchilari uchun, asosan, xarajatlarni hisobga olgan holda nisbatan ahamiyatsiz. Bu optoelektronikaning yaxshilanishi va optik tolali aloqalar yangi optik tolali sensorlarning paydo bo'lishi bilan birga kengayishda davom etishi bilan o'zgarishini kutish mumkin.



6.46-rasm. To'rtta optik tolali sensorlarning fazoviy multipleksatsiyasi turli tashuvchi chastotali ikkita yorug'lik manbasini ishga tushirish va sensor chiqishini ikkita chiqish tolasiga o'zaro bog'lash orqali amalga oshirilishi mumkin.

Yangi bozor hududlari ekvivalent sensorlar mavjud bo'lmagan imkoniyatlarni ochadi. Yangi sensorlar ishlab chiqilgandan so'ng, bu sohalarda katta ta'sir ko'rsatishi mumkin. Buning yorqin misoli - aqlli optik tolali tuzilmalar sohasi. Optik tolali sensorlar (1) ishlab chiqarish jarayonida tizimlarning texnologik boshqaruvini yaxshilash, (2) qismlar ishlab chiqarilgandan so'ng NDTni oshirish, (3) qismlarni loyihalashda yig'ilgandan so'ng ishlash va zararni baholash tizimlarini yaratish uchun o'rnatilgan yoki biriktirilgan. va (4) nazorat tizimini takomillashtirish. Asosiy optik tolali aqlli tuzilma tizimi 48-rasmda ko'rsatilgan.

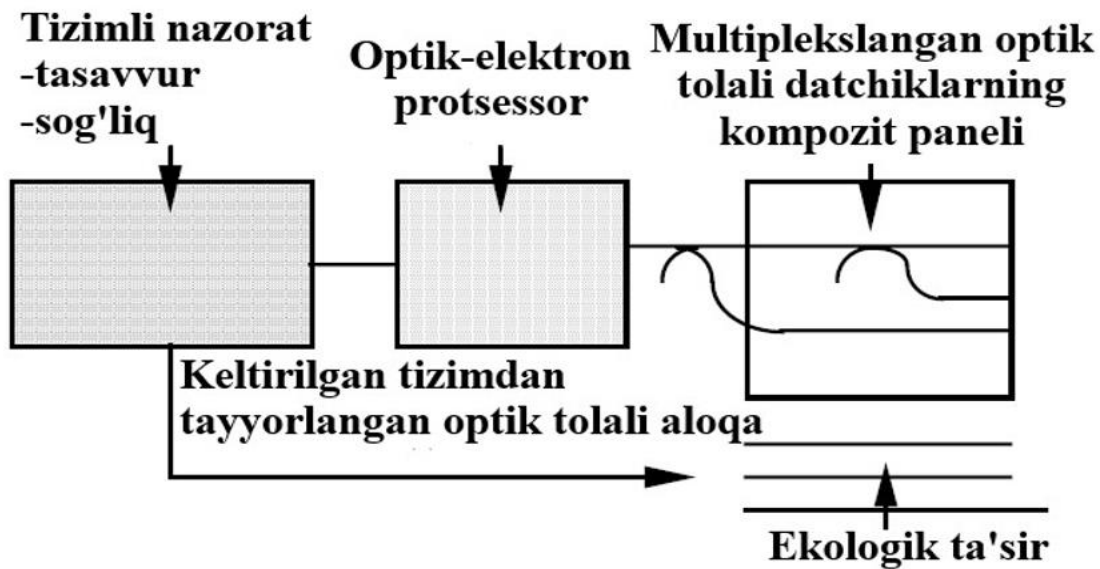


6.47-rasm. JK sensorlarining fazoviy multiplekslash kengaytmalari J yorug'lik manbalarini J turli chastotalarda ishlatish va K tolasi chiqishiga o'zaro ta'siri

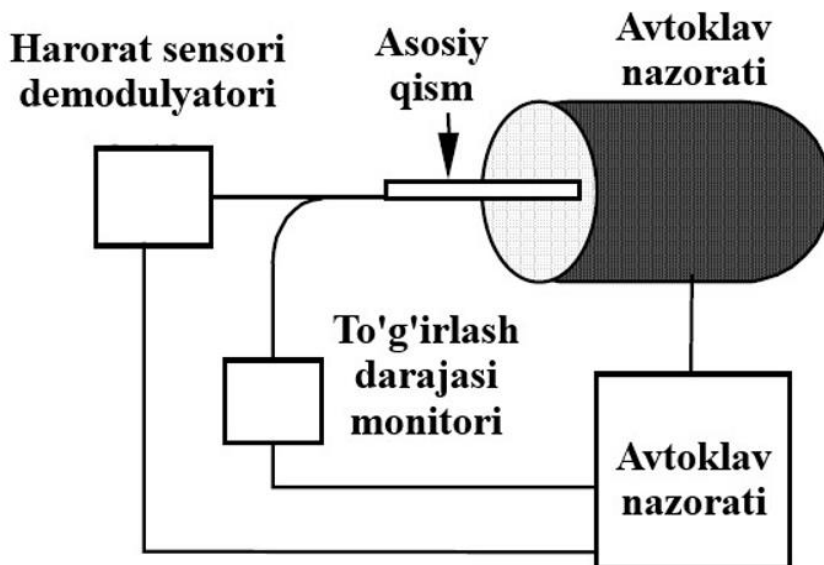
Optik tolali sensorlar panelga o'rnatilgan bo'lishi mumkin va o'tkazgichlarni minimallashtirish uchun multiplekslanadi. Paneldan kelgan signallar dekodlash uchun optik/elektron protsessorga qaytariladi. Ma'lumotlar formatlanadi va samaradorlik yoki salomatlik ko'rsatkichlarini oshirishi mumkin bo'lgan boshqaruv tizimiga o'tkaziladi. Keyin boshqaruv tizimi atrof-muhit ta'siriga javoban dizaynni o'zgartirish uchun optik tolali aloqa orqali ishlaydi.

6.49 - rasmda ushbu tizim ishlab chiqarishda qanday ishlatilishini ko'rsatadi. Bu yerda optik tolali sensorlar avtoklavdagi ish qismiga biriktirilgan. Sensorlar asosiy haroratni, kuchlanishni va qattiqlashuvni kuzatish uchun ishlatilishi mumkin. Ushbu o'lchovlar avtoklavlash jarayonini nazorat qilish, hosildorlik va qismlar sifatini yaxshilash uchun ishlatilishi mumkin.

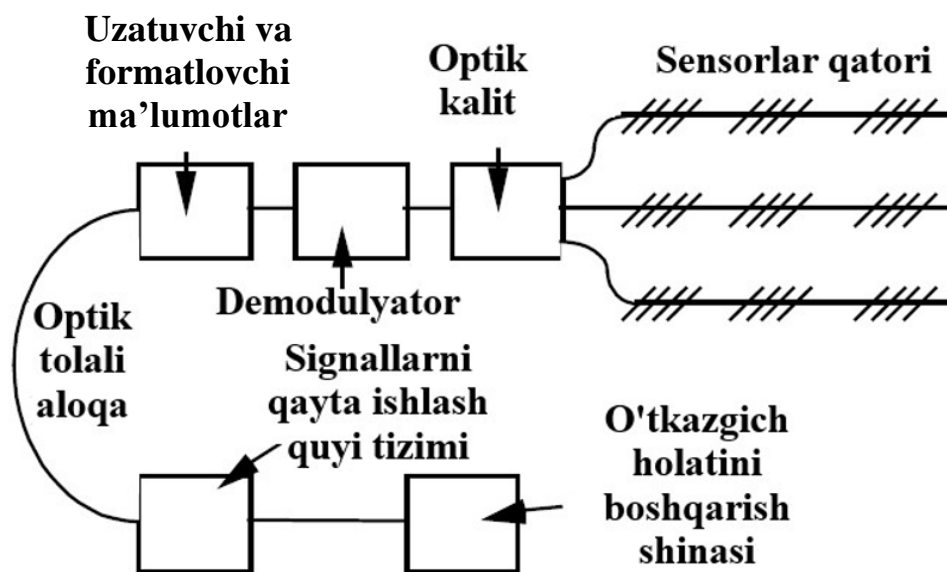
Sog'liqni saqlash va zararni baholash tizimlari uchun qiziqish sohalari binolar, ko'priklar, to'g'onlar, samolyotlar va kosmik kemalar kabi uzoq masofali tuzilmalardir. Ushbu turdagi dizaynlarni qo'llab-quvvatlash uchun tezda qayta sozlanishi va ortiqcha bo'lishi mumkin bo'lgan juda ko'p sonli sensorlar kerak bo'ladi. Bundan tashqari, oxirgi foydalanuvchilarga ushbu tizimlarning qiymati va iqtisodiy samaradorligini ko'rsatish juda muhim bo'ladi.



6.48-rasm. *Intellektual optik tolali tizimlar ko'paytiriladigan va pastga yo'naltirilgan atrof-muhitni sezish qismlariga o'rnatilgan yoki biriktirilgan optik tolali sensorlardan iborat. Keyinchalik effektlar optik-elektron signal protsessori orqali yuboriladi, bu esa o'z navbatida boshqaruv tizimiga ma'lumotni yetkazib beradi, optik tolali liniya orqali aktuatorga ma'lumotlarga ta'sir qilishi mumkin yoki bo'lmasligi mumkin.*



6.49-rasm. *Intellektual ishlab chiqarish tizimlari ishlab chiqarish jarayonida ehtiyot qismlarning asosiy parametrlarini kuzatish istiqbollari taklif qiladi, bu hosildorlikni oshiradi va umumiy xarajatlarni kamaytiradi.*



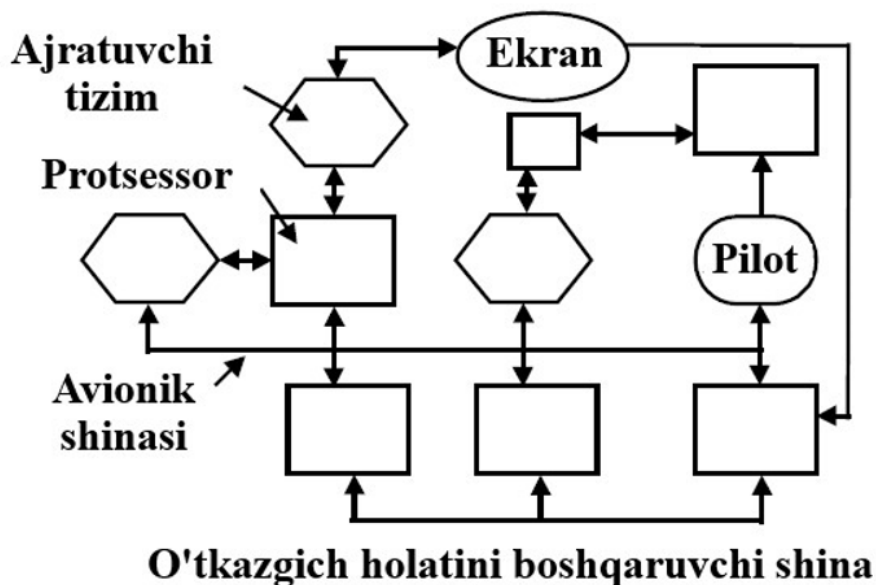
6.50-rasm. Katta aqlli mato tizimi uchun modulli arxitektura optik kalit tizimi orqali kirish mumkin bo'lgan tolali sensor satrlaridan va har bir qatordagi kalit sensorlarni tanlay oladigan demodulyatordan iborat bo'ladi. Keyin ma'lumot formatlanadi va konditsionerdan so'ng transport vositasining sog'lig'ini boshqarish avtobusiga uzatiladi.

Ushbu muammoni hal qilishning bir usuli – yuqori ishlashni taklif qilgan holda juda katta miqdorda arzon ishlab chiqarish potentsialiga ega bo'lgan optik tolali sensorlardan foydalanish. Ikki nomzod ustidan tergov davom etmoqda, tolali panjaralar va yuqorida tavsiflangan standartlar. Ikkalasi ham spektral sensorlarning afzalliklarini va tezkor ishlab chiqarish istiqbollari taklif qiladi. Tola panjarasi holatida tolaning erta namoyishi ayniqsa, ta'sirli edi. Ushbu optik tolali sensorlar arxitekturasi 6.50 - rasmda ko'rsatilgan to'lqin uzunligi bo'linmasi multiplekslangan va vaqtga bo'linadigan multiplekslangan modulga yig'ilishi mumkin.

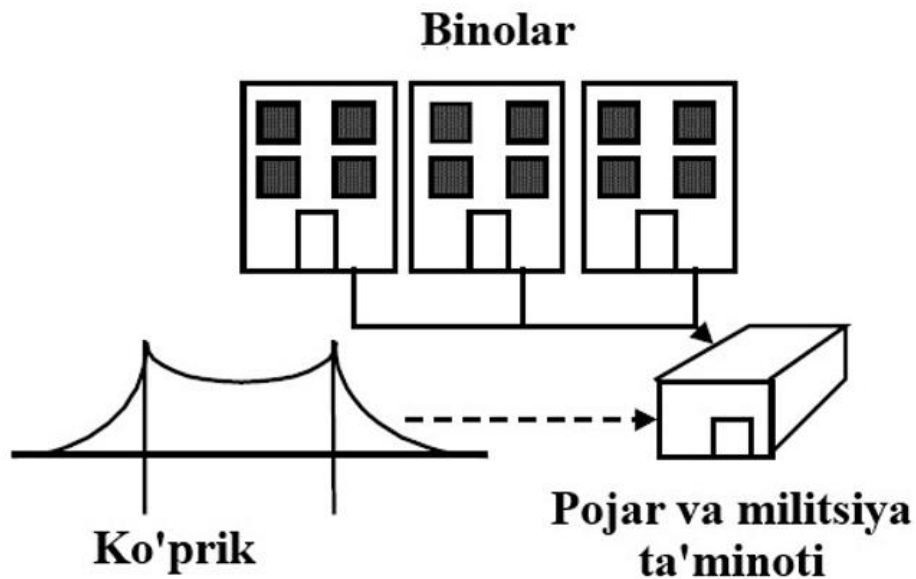
Bu yerda sensorlar optik tolali zanjirlar bo'ylab multiplekslangan. va bir nechta satrlarni qo'llab - quvvatlash uchun optik kalit ishlatiladi. Potensial ravishda torli tola o'nlab yoki yuzlab pikaplarga ega bo'lishi mumkin va optik kalitlar bir xil miqdordagi satrlarni qo'llab-quvvatlashi mumkin. Tizimning haddan tashqari yuklanishini oldini olish uchun sensorning chiqishi doimiy yangilanib turadigan Rasmda holatni asta-sekin skanerlashi mumkin.

Batafsilroq baholashni talab qiladigan voqea sodir bo'lganda, ulardagi tegishli zanjirlar va sensorlar yuqori samarali modda kuzatilishi mumkin. Keyin ushbu sensorlardan olingan ma'lumotlar sog'liqni saqlashni boshqarish avtobusiga yuborilishidan oldin formatlanadi va quyi tizimning signal protsessoriga optik tolali uzatiladi. Avionika bo'lsa, tizim arxitekturasi 6.51 - rasmdagi kabi ko'rinishi mumkin. Sog'liqni saqlash avtobusidan olingan ma'lumotlar qayta ishlanishi va uchuvchiga yetkazilishi mumkin, yoki, ehtimol, uning bevosita ish yukini kamaytirishi mumkin, bu esa zarur monitoring uchun ko'proq vaqt beradi.

Kengaytirilgan tola va uyga tola haqiqatga yaqinlashar ekan, optik tolali sensorlar va aloqa tizimlarini binolar, ko'priklar, magistrallar va fabrikalarning sog'lig'ini kuzatishga qodir juda katta tizimlarga birlashtirish istiqbollari paydo bo'ladi. Yong'in, politsiya, texnik xizmat ko'rsatishni rejalashtirish va zilzilalar, bo'ronlar va tornadolarga favqulodda choralar ko'rish kabi funktsiyalar 6.52 rasmda ko'rsatilganidek, juda keng sensorli tarmoqlarga osongina birlashtirilishi mumkin.



6.51-rasm. Avionika tizimi uchun odatiy transport vositalarining sog'lig'ini boshqarish avtobusi 6.50 - rasmdagi aqlli mato optik tolali modullari uchun birlashma nuqtasi bo'ladi.



6.52-rasm. Binolar, ko'priklar va to'g'onlar kabi keng tarqalgan aktivlarning holatini kuzatish uchun optik tolali sensor tarmoqlari yong'in, politsiya va kommunal xizmatlarni yaxshilash uchun ishlatilishi mumkin.

Bundan tashqari, tanqidiy shikastlanish joylari va vulqon gumbazlarida stress to'planishini kuzatish uchun optik tolali aloqa kanallari bilan birgalikda optik tolali sensorlardan foydalanish mumkin. Ushbu keng tarqalgan optik tolali tarmoqlar ushbu tabiiy xavflar uchun modelni bashorat qilish uchun zarur bo'lgan ma'lumotlarni to'plashning birinchi haqiqiy vositalarini taklif qilishi mumkin.

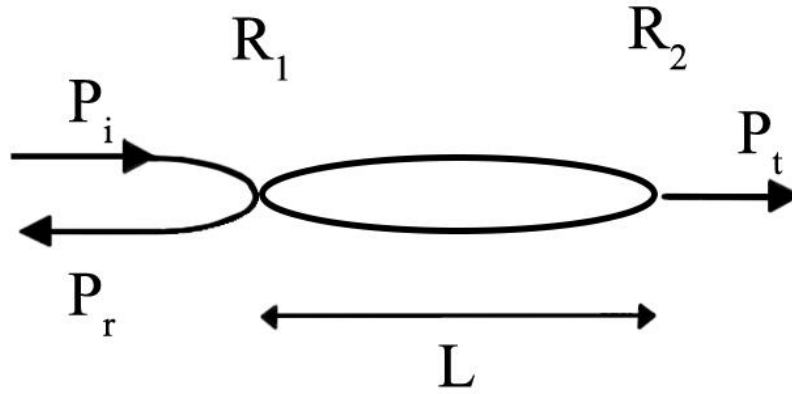
7-BOB. FABRI-PERO INTERFEROMETRI ASOSIDAGI OPTIK TOLALI SENSORLAR

7.1. Fabri-Pero interferometri asosidagi optik tolali sensorlar

Fabri-Pero interferometri (FPI), ba'zan Fabri-Pero etaloni deb ataladi, rasmda bo'lgani kabi, L uzunlikdagi bo'shliq bilan ajratilgan R_1 va R_2 aks ettiruvchi ikkita ko'zgudan iborat. XIX-asr oxirlarida [1] ixtiro qilinganidan beri FPI ning ommaviy optikaga ega versiyasi yuqori aniqlikdagi spektroskopiyani olish uchun keng qo'llanila boshlandi. 1980-yillarning boshlarida birinchi natijalar optik tolali versiyalarda olingan, FIR haqida xabar berilgan.

1980-yillarning oxirida optik tolali Fabri-Pero interferometrlari paydo bo'ldi. kompozit materiallarda harorat, kuchlanish va ultratovush bosimini o'lchash uchun qo'llanilishi mumkin. Ushbu dastlabki ish keng qamrovli qayta qurish uchun asos yaratdi. 1990-yillarda qidiruv va ishlab chiqish va tijoratlashtirish.

Fabri-Pero interferometrlari ikkita ko'zgu orasidagi optik yo'lning uzunligiga ta'sir qiluvchi qaramlik buzilishlariga juda sezgir. Sensor maydoni juda ixcham bo'lishi mumkin - ba'zi ilovalarda "nuqta" transduserining ekvivalenti. Ovoz berish uchun ishlatiladigan boshqa tolali interferometrlardan (Maxa-Zehnder, Maykelson, Sanyak) farqli o'laroq, Fabri-Pero tolali ulagichlarni o'z ichiga olmaydi - sensorni o'rnatish va ma'lumotlarni sharhlashni murakkablashtiradigan komponentlar. FPI tolasi ko'plab aqlli tuzilma dasturlari, shu jumladan sensor kompozit yoki metallga o'rnatilishi kerak bo'lgan ilovalar uchun ideal konvertor bo'lishi mumkin. Nihoyat, bu ko'p qirrali hisoblagichlar ko'p nuqtali monitoring xarajatlarini kamaytirish uchun kosmik bo'linish, vaqt bo'linishi, chastota bo'linishi va kogerent multiplekslashdan foydalanishga imkon beradi.



7.1-rasm. *Fabri-Pero interferometri, bu yerda P_i , P_r va P_t mos ravishda hodisa, aks ettirilgan va uzatilgan optik quvvatlardir.*

Ushbu bobning keyingi bo‘limlari FPI nazariyasini muhokama qiladi, bir qator tolali FPI konfiguratsiyasini tavsiflaydi, optik monitoring va multiplekslash usullarini muhokama qiladi, texnologik qiziqish uyg‘otadigan materiallarga sensorlarni joylashtirishni muhokama qiladi va harorat, kuchlanish, bosim va bosimni o‘lchashda erishilgan natijalarni umumlashtiradi. bir qancha boshqa o‘lchana-digan miqdorlar, shuningdek, kelajakdagi tadqiqot va rivojlanish yo‘nalishlariga qisqacha qarash.

7.2. Fabri-Pero interferometr nazariyasi

Bir necha o‘n yillar oldin ommaviy FPI uchun ishlab chiqilgan matematik tahlil bu yerda qiziqish uyg‘otadigan optik tolali interferometrlarga ham tegishli. Ushbu bo‘limda optik tolali sensorlarning ishlashini tavsiflash uchun qo‘llaniladigan o‘tkazuvchanlik va aks ettirish FPI uchun umumiy iboralar keltirilgan.

FPIdagi individual nometallarni o‘tkazuvchi vatandoshlar sifatida tavsiflash mumkin, T_i va reflektorlar $R_{i,i} = 1, 2$, shunday qilib, $R_i + T_i = 1$. Ortiqcha yo‘qotish, bu nurdan tashqarida so‘rilgan yoki tarqoq hodisa kuchining bir qismiga to‘g‘ri keladi. ko‘zgu, bu tahlilda hisobga olinmaydi. Fabri-Pero aks ettirish RFP va o‘tkazuvchanlik TFP

$$R_{FP} = \frac{R_1 + R_2 + 2\sqrt{R_1 R_2} \cos \varphi}{1 + R_1 R_2 + 2\sqrt{R_1 R_2} \cos \varphi}, \quad (7.1)$$

$$T_{FP} = \frac{T_1 T_2}{1 + R_1 R_2 + 2\sqrt{R_1 R_2} \cos \varphi}, \quad (7.2)$$

bu yerda RFP - aks ettirilgan quvvat FPI Pr ning tushuvchi quvvatga nisbati Pi, TFP - uzatilgan quvvat Pt ning tushuvchi quvvatga nisbati va φ - interferometrda har ikki yo‘nalishda tarqalish fazasining siljishi, n - ko‘zgular orasidagi hududning sindirish ko‘rsatkichi, λ - optik to‘lqinning bo‘sh fazodagi uzunligi. Yorug‘lik har bir ko‘zguda $\pi = 2$ fazali siljishni boshdan kechiradi, bu dielektrik ko‘zgularga mos keladi, bu (3) formulaga muvofiq tarqalish fazasining siljishiga qo‘shiladi.

$$\varphi = \frac{4\pi nL}{\lambda}, \quad (7.3)$$

Bu tenglamadan ko‘rinib turibdi. (2) $\cos \varphi = -1$ yoki $\varphi = (2m + 1)\pi$ da TFP maksimal bo‘ladi, bu yerda m butun sonidir. Agar $\Delta = \varphi - (2m + 1)\pi$, ni aniqlasak, u holda T_{FP} dagi maksimalga yaqin, $\cos \varphi \approx -(1 - \Delta^2 / 2)$, c $\Delta \ll 1$ bilan. Spekulyar aks ettirishda koeffitsiyentlar teng va birlikka yaqinlashadi, keyin tenglama. (2) ga soddalashtiradi

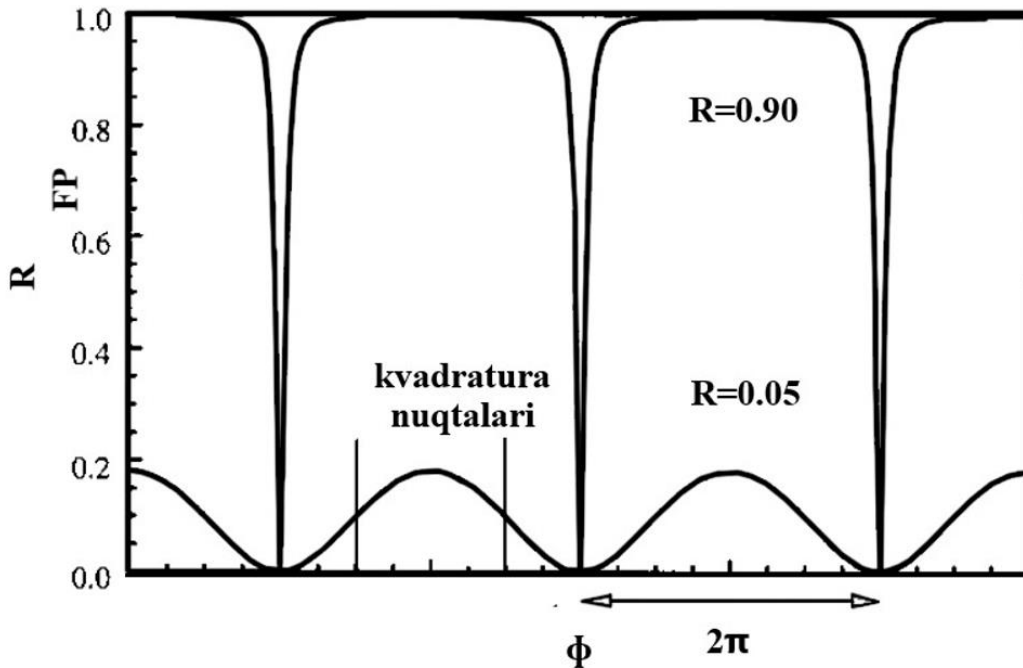
$$T_{FP} = \frac{T^2}{(1 - R)^2 + \Delta R^2}, \quad (7.4)$$

bu yerda $R = R_1 = R_2$ va $T = 1 - R$. Maksimal o‘tkazuvchanlikka $\Delta = 0$ bo‘lganda erishiladi. FPI uchun tez-tez qo‘llaniladigan ishlash ko‘rsatkichi Finesse F, ulashgan uzatish cho‘qqilari orasidagi faza o‘zgarishining cho‘qqining har ikki tomonidagi yarim maksimal nuqtalar orasidagi faza o‘zgarishiga nisbati sifatida aniqlanadi. Tenglamadan (2) shundan kelib chiqadiki, T_{FP} φ ning 2π davriga ega davriy funksiyasidir, shuning uchun bir cho‘qqidan ikkinchisiga moslashish uchun 2π radianlik faza o‘zgarishi talab qilinadi. Ammo bu tenglamadan kelib chiqadi. (4) yuqori ko‘zgu koeffitsientli ko‘zgular uchun $T_{FP} \Delta = \pm(1 - R)/\sqrt{R}$ da maksimal qiymatining yarmini tashkil qiladi.

Demak, noziklikni shunday yozish mumkin

$$F = \pi / \sqrt{R} (1 - R), \quad (7.5)$$

Shunday qilib, $F = 29,8$ yo‘qotishsiz nometalli interferometrda $R = 0,99$ uchun $R = 0,9$ va $F = 312,6$ bo‘ladi.



7.2-rasm. Yo‘qotishsiz FPI RFP aks ettirish va ikkita bitta oyna aks ettirish qiymati uchun oldinga va orqaga bosqichli siljish, $R = 0:9$ va $0,05$. $R \frac{1}{4} 0:05$ uchun radiofarmatsevtikaning f ga maksimal sezgirligiga mos keladigan ikkita kvadrat nuqta ko‘rsatilgan.

Ko‘zgularning aks ettirish koeffitsiyentlari kichik bo‘lsa, boshqa cheklovchi holat qisman hisoblanadi. Fabri-Pero tolali sensorlari alohida qiziqish uyg‘otadi. Ko‘zgular tenglamadan $R = R_1 = R_2$ bilan bir xil ko‘zgu koeffitsiyentlariga ega deb yana bir bor faraz qilamiz. (1) va (2) agar $R \ll 1$ bo‘lsa

$$R_{FP} \cong 2R (1 + \cos \varphi), \quad (7.6)$$

$$T_{FP} \cong 1 - 2R (1 + \cos \varphi), \quad (7.7)$$

Shuni ta’kidlash kerakki, yupqalik tushunchasi $R \ll 1$ bo‘lgan FDIga nisbatan qo‘llanilmaydi. Haqiqatan ham, noziklik va (7.2)

tenglama ta'rifimizdan kelib chiqadiki, $R=1,72$ uchun $F = 1$ va $R<1,72$ uchun F aniqlanmagan.

Yo'qotishsiz FPI uchun aks ettirish koeffitsiyenti formula bilan aniqlanadi. 7.1-rasmda oldinga va orqaga o'tishning funksiyasi sifatida tasvirlangan. $R=0,9$ va $R=0,05$ 7.2 – rasm uchun (7.6) tenglamaning taxminiy ifodasi oxirgi holatda aniq egri chiziqni takrorlaydi.

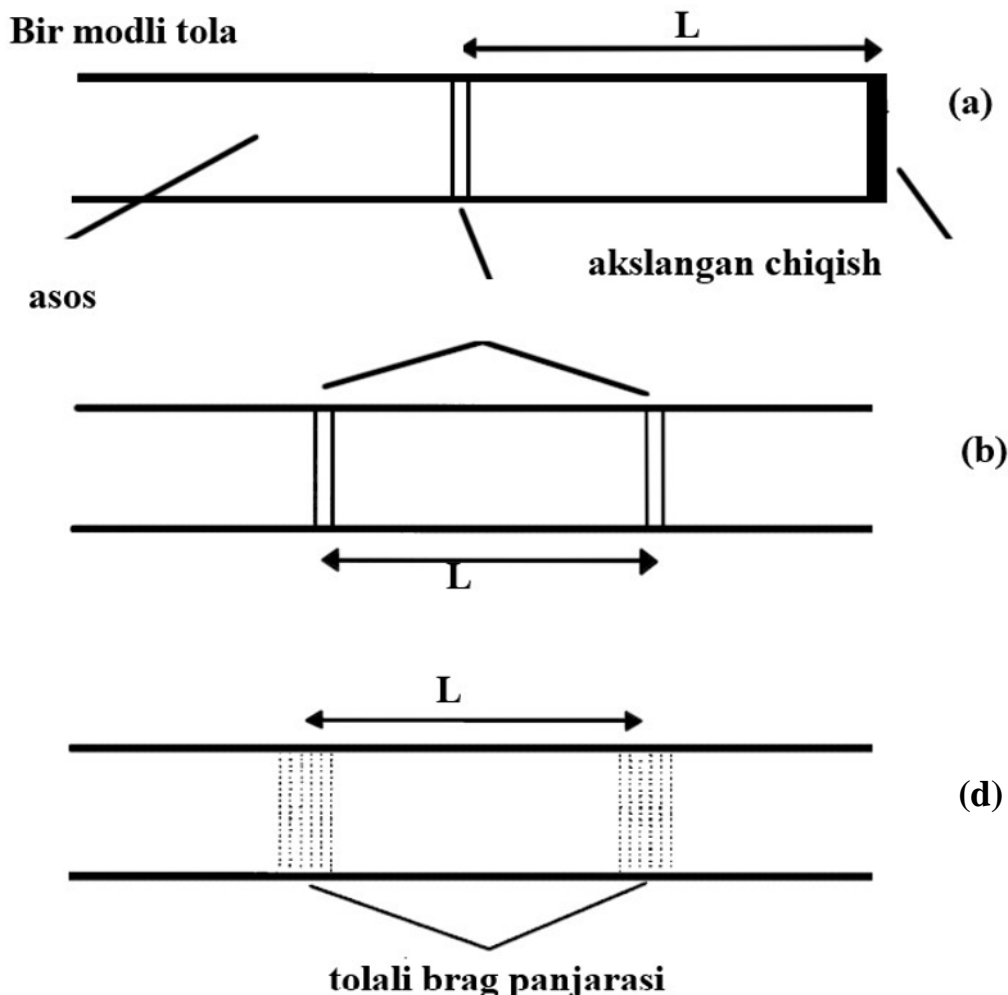
7.3. Tolali sensor konfiguratsiyasi

Tolali Fabri-Pero interferometrlari haqidagi birinchi hisobotlar 1980-yillarning boshlarida paydo bo'la boshladi. Ushbu dastlabki tajribalarda interferometr rezonatori dielektrik ko'zgular yoki ko'zgu sifatida xizmat qilish uchun uchlari bo'lgan bir modli tola edi. Geliy-neon lazerining yorug'ligi tolali interferometrga yo'naltirilganligi sababli, aks ettirish yoki o'tkazuvchanlik nazorat qilindi. Ushbu interferometrlarning deformatsiya va haroratga kutilayotgan yuqori sezuvchanligi tasdiqlangan.

Optik tolali Fabri-Pero sensorlari ushbu oldingi ishdan ishlab chiqilgan. odatda ichki yoki tashqi deb tasniflanadi. Ichki va tashqi sensorlarda tola (asosan bir modli) nurni emitentdan interferometr va interferometrdan fotodetektorga olib boradi. Odatda "FFPI" sensori deb ataladigan ichki tolali Fabri-Pero interferometrik sensorida ikkita ko'zgu bir modli tolaning uzunligi bilan ajratiladi va o'lchangan qiymat yorug'likning optik yo'l uzunligiga ta'sir qiladi. tolaning o'zi. Odatda "EFPI" sensori deb ataladigan tashqi tolali Fabri-Pero sensorlarida ikkita ko'zgu havo bo'shlig'i yoki toladan boshqa qattiq material bilan ajratilgan. Shunday qilib, EFPI sensorida o'lchangan miqdor uchuvchi nurni interferometr olib boradigan toladan boshqa muhitda optik yo'lning uzunligiga ta'sir qiladi. FFPI ham, EFPI ham shunday tuzilganki, o'lchangan miqdor resonatorning optik uzunligiga ta'sir qiladi va interferometr tomonidan aks ettirilgan yoki uzatiladigan yorug'lik fotodetektor tomonidan o'lchangan miqdorni hisoblash uchun elektron tarzda qayta ishlanadigan elektr signaliga aylanadi.

7.3.1. Yopiq optik tolali Fabri-Pero interferometr (FFPI) sensorlari

7.1 - rasmda uchta FFPI sensori konfiguratsiyasi 7.3 – rasmda ko‘rsatilgan. Eng oddiy Rasmda, korpusda (7.3a - rasm) tolaning yorilishi yoki sayqallangan uchi bitta oynani hosil qiladi, ikkinchi oyna esa tolaning ichida joylashgan. Eng ko‘p o‘rganilgan va qo‘llaniladigan ichki versiya (7.3b - rasm) ikkita ichki oynaga ega, keyin esa tolaning "aks ettirmaydigan" uchi mavjud. Buzilgan yoki kesilgan tolaning uchi odatda juda past aks ettiruvchanlikka ega; muqobil ravishda, uchi burchak ostida parlatilishi mumkin. Nihoyat, interferometr Bo‘shliq tolali Bragg reflektorlari tomonidan hosil bo‘lishi mumkin (7.3d - rasm).



7.3-rasm. Ichki FFPI sensori konfiguratsiyasi. (a) ichki oyna va tolalar uchi tomonidan hosil qilingan bo‘shliq; b) ikkita ichki oynadan hosil bo‘lgan bo‘shliq; (c) ikkita tolali Bragg panjarasidan hosil bo‘lgan bo‘shliq. Har bir holatda L - optik bo‘shliqning fizik uzunligi.

FFPIda ichki tolali nometallardan foydalanish birinchi marta 1987-yilda xabar qilingan. Ichki nometall uzluksiz tolalar uzunligining ajralmas qismi bo'lgan reflektorlardir. Ular qoplanmagan tolali qotishmalarning "yomon" biriktirilishi 6,7 va qoplanmagan tolani yupqa dielektrik yoki oxirgi yuzida metal.

Dielektrik qoplamalardan hosil bo'lgan ichki nometall eng yaxshi mexanik xususiyatlarni, eng past ortiqcha optik yo'qotishlarni va aks ettirish qiymatlarining eng keng diapazonini ko'rsatdi. Eng ko'p ishlatiladigan oyna materiali TiO_2 bo'lib, uning sinishi indeksi 2,4 ga teng (eritilgan kremniy oksidi uchun 1,46 ga nisbatan).

Ko'zgu yuzning ikkita plyonkasi va tolalari birlashmasidagi sinishi indeksidagi sakrashlar tufayli yuzaga keladi. TiO_2 plyonkalari rf planar magnetron tizimida purkash yoki elektron nurlar bug'lanishi orqali ishlab chiqarilgan. Odatda plyonka qalinligi 100 nm atrofida.

Termoyaviy biriktiruvchi oddiy ulashga qaraganda kamroq yoy oqimi va davomiyligida ishlaydi va oyna hosil qilish uchun bir nechta biriktiruvchi impulslardan foydalaniladi. Ko'zgu aks ettirish odatda birlashma impulslari soniga qarab monoton ravishda kamayadi, bu esa ulash jarayonida 1% dan 10% gacha bo'lgan oraliqda kerakli aks ettirishni tanlash imkonini beradi. Ehtiyotkorlik bilan ishlab chiqarilgan holda, bu nometalllardagi ortiqcha yo'qotishlar 1% (0,05 dB) dan kam bo'lishi mumkin. 10% dan ortiq ichki oyna aks ettirishga erishish uchun ko'p qatlamli $TiO_2 = SiO_2$ magnetronli puskurtme bilan ishlab chiqarilgan plyonkalar ishlatilgan. 1,3 μm to'lqin uzunligida 21 noziklikdagi FFPIda ko'p qatlamli nometall yordamida 86% aks ettirilgan. Qoplamali tolaga qayta birikish orqali ishlab chiqarilgan.

7.3.2. Tashqi tolali Fabri – Pero interferometri (EFPI) Sensorlar

EFPI konfiguratsiyasining eng qadimgi va hali ham eng foydali konfiguratsiyalaridan biri (7.4(a) - rasm) tolaning yorilgan yoki sayqallangan uchiga yaqin joylashgan diafragmadan foydalanadi. Havo bo'shlig'i bo'shlig'i diafragmaning aks ettiruvchi yuzalari va yorug'lik qo'llanmasining oxiri bilan chegaralanadi. Tola kerakli bo'shliq uzunligiga (odatda mm) erishish uchun joylashtirilgandan so'ng, u qo'llab-quvvatlovchi tuzilishga mahkam bog'langan. Ushbu

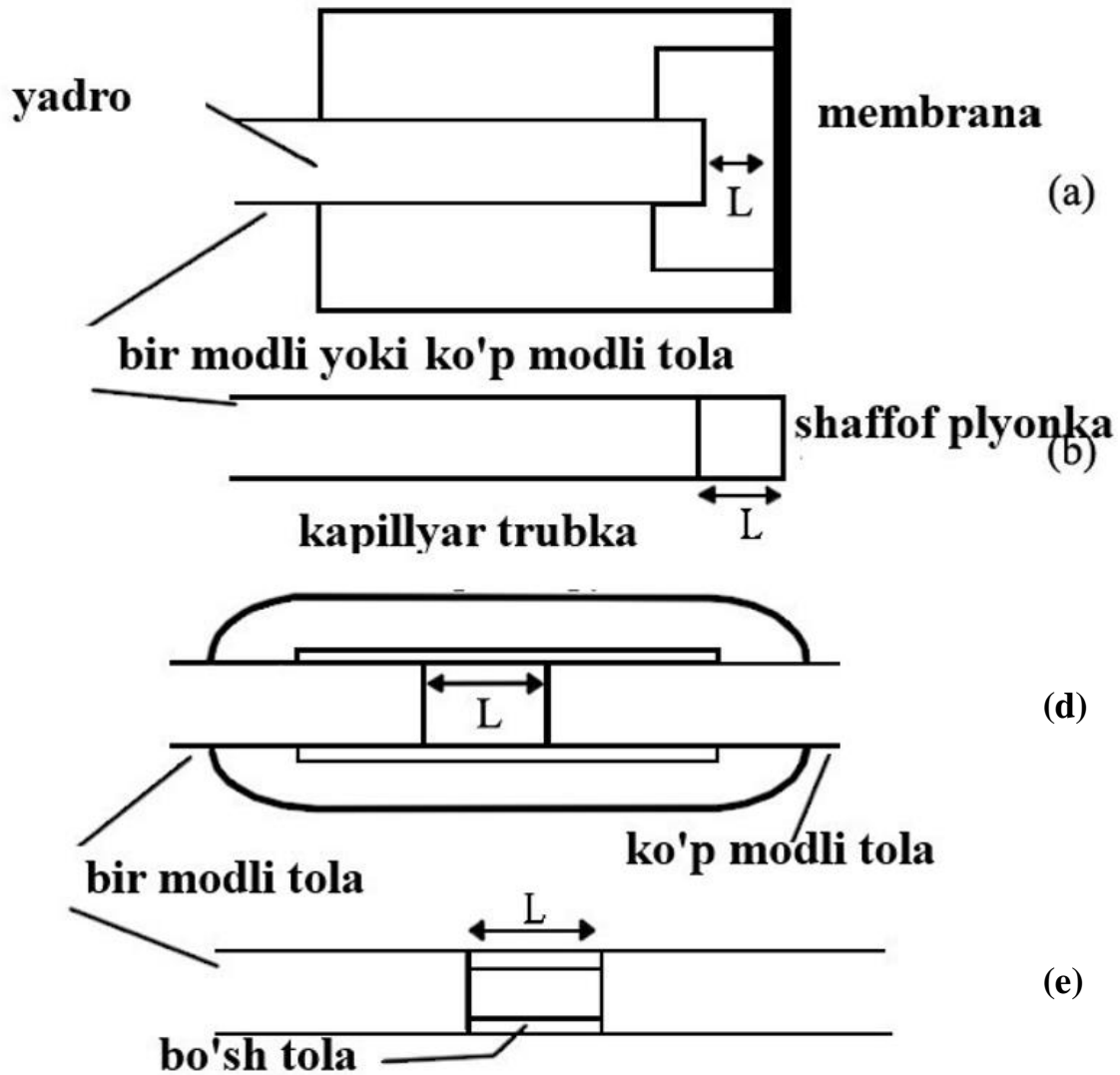
qisqa bo'shliq uzunligi ushbu sensorlarni ko'pmodli optik tolali va past kogerentli YCHD (LED) yorug'lik manbalari bilan ishlatishga imkon beradi. Boshqa konfiguratsiyada (7.4 (b) - rasm) tolaning oxirida shaffof qattiq material plyonkasi qo'llaniladi, shuning uchun bo'shliq plyonkada bo'lib, tolali plyonka va kino-havo interfeyslari bilan chegaralanadi. Yana bir keng qo'llaniladigan EFPI konfiguratsiyasi (4c-rasm) ikkita bo'lingan yoki sayqallangan tolalar yuzasi o'rtasida hosil bo'lgan havo bo'shlig'idan foydalanadi, bu erda tolalar ichi bo'sh trubkaga uchigacha hizalanadi. Nihoyat, "mos tola" (ILFE) deb ataladigan EFPI (7.4(d)-rasm) ikkita bir modli tolalar orasiga qo'shilgan ichi bo'sh tolalar qismida havo bo'shlig'idan foydalanadi. EFPI bo'shlig'idagi yorug'lik cheklanmaganligi sababli, diffraktsiya tufayli interferometrda optik yo'qotish ko'pchilik ilovalar uchun optik bo'shliqning amaliy uzunligini bir necha yuz mm gacha samarali ravishda cheklaydi.

7.4. Optik nazorat usullari va multiplekslash usullari

Ko'pgina elektr sensorlarda (masalan, haroratni o'lchash uchun termoparalar, piezoelektrik bosim sensorlari) xom signal o'lchangan miqdorning monotonik va ancha chiziqli funksiyasidir. Interferometrik optik sensorlar bilan bog'liq vaziyat unchalik aniq emas. 7.2 - rasmda aks ettirilgan (yoki uzatilgan) optik signal rezonatoridagi optik faza siljishining davriy funksiyasi ekanligini ko'rsatadi. Faza almashinuvi deyarli barcha interferometrik sensorlarda o'lchangan miqdorning chiziqli funksiyasiga yaqin bo'lganligi sababli, xom optik signal o'lchangan miqdorning juda chiziqli bo'lmagan funksiyasidir. O'lchangan kattalikdan kelib chiqadigan optik signalning fazaviy siljishini aniqlash interferometrik o'lchash tizimini loyihalashda asosiy qiyinchilik va ba'zi hollarda eng katta qiyinchilik hisoblanadi.

Multiplekslash tolali sensorlarni ishlab chiqishda yana bir muhim masaladir. Bu yerda multiplekslash keng ma'noda bir nechta sensorlarni yorug'lik bilan ta'minlash uchun bitta optik manbadan foydalanish, bir nechta sensorlarga kirish uchun bitta toladan foydalanish, bir nechta sensorlardan optik signalni aylantirish uchun bitta fotodetektordan foydalanish, bitta elektron signaldan foydalanish deb ta'riflanadi. Bir nechta sensorlar yoki yuqoridagilarning har

qanday kombinatsiyasi uchun o'lchangan qiymatlarni hisoblash uchun protsessordan foydalaniladi. Multiplekslash muhim ahamiyatga ega, chunki u sensor xarajatlarini kamaytirishga yo'l ochadi va shu bilan bir nechta nuqta kerak bo'lgan hollarda optik tolali tizimlarning iqtisodiy samaradorligini oshiradi va nazoratga olingan.

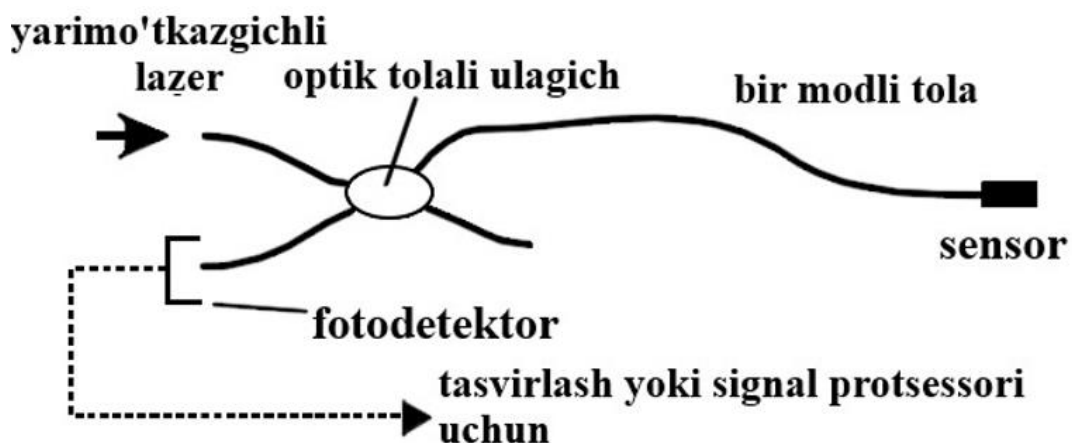


7.4-rasm. Tashqi EFPI sensori konfiguratsiyasi. (a) tolalar uchi va diafragma tomonidan hosil qilingan bo'shliq; b - tolaning oxiridagi plyonka sirtlari tomonidan hosil bo'lgan bo'shliq; (d) bir modli tolaning uchidan hosil bo'lgan bo'shliq va kapillyar naychada tekislangan Ko'p modli tola; (e) ichi bo'sh yadroli tolaga payvandlangan bir modli tolaning uchlari bilan hosil bo'lgan bo'shliq. Har bir holatda, L - optik rezonatorning fizik uzunligi, bu konfiguratsiyalarda havo bo'shlig'i (a), (d) va (e).

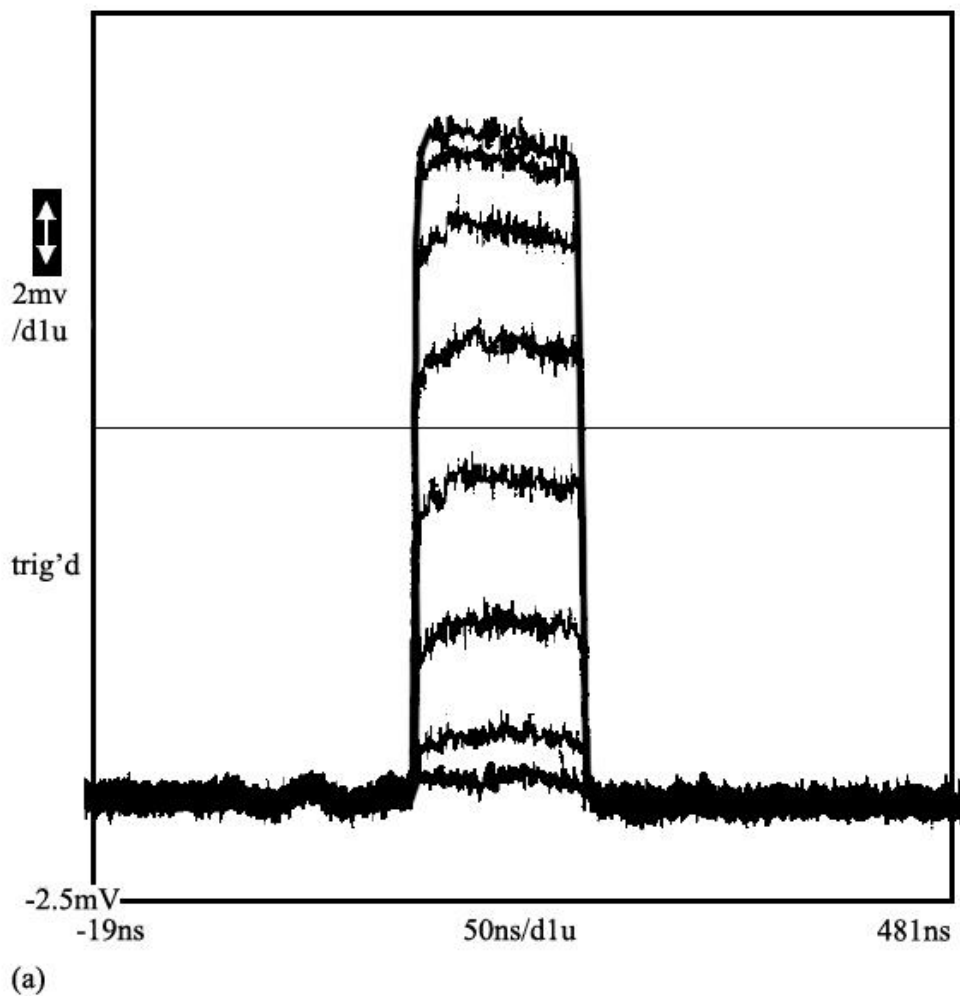
7.4.1. So‘roq qilish usullari

Zamonaviy optik tolali Fabri-Pero sensori texnologiyasida yuqori kogerentli (lazer) va past kogerentli yorug‘lik manbalaridan foydalangan holda so‘roq qilish usullari muhim rol o‘ynaydi. Qoida tariqasida, lazer dinamik o‘lchovlar uchun yuqori sezuvchanlik va tezroq javob beradi. Biroq, "sovuq boshlash" vaqtida 2π dan ortiq radian oralig‘ida o‘zgarishi mumkin bo‘lgan bitta lazer bilan fazalar almashinuvini o‘lchash mumkin emas. Boshqa tomondan, keng polosali manbalar nisbatan sekin tezlikda o‘zgaruvchan o‘lchangan miqdorlar uchun yuqori dinamik diapazonni o‘lchash zarur bo‘lgan ilovalar uchun juda mos keladi.

Lazer (bitta to‘lqin uzunligi). Bitta lazerli FFPI yoki EFPI sensorining aks ettirilishini kuzatish uchun odatiy eksperimental o‘rnatish 7.5 - rasmda ko‘rsatilgan. Lazerli dioddan keladigan yorug‘lik tolali birikma orqali o‘tadi va tolali interferometr tomonidan aks ettiriladi. Ulagichdan yana o‘tgandan so‘ng, aks ettirilgan yorug‘lik fotodiod tomonidan elektron qayta ishlanadigan va / yoki ko‘rsatiladigan elektr signaliga aylanadi. FFPI sensori bilan impulsli 1,3 m yarimo‘tkazgichli lazer yordamida olingan ba‘zi tipik to‘lqin 7.6 - rasmda ko‘rsatilgan. Beqarorlashtiruvchi optik aloqani bostirish uchun Faradey izolyatori lazer bilan ketma-ket joylashtirildi.



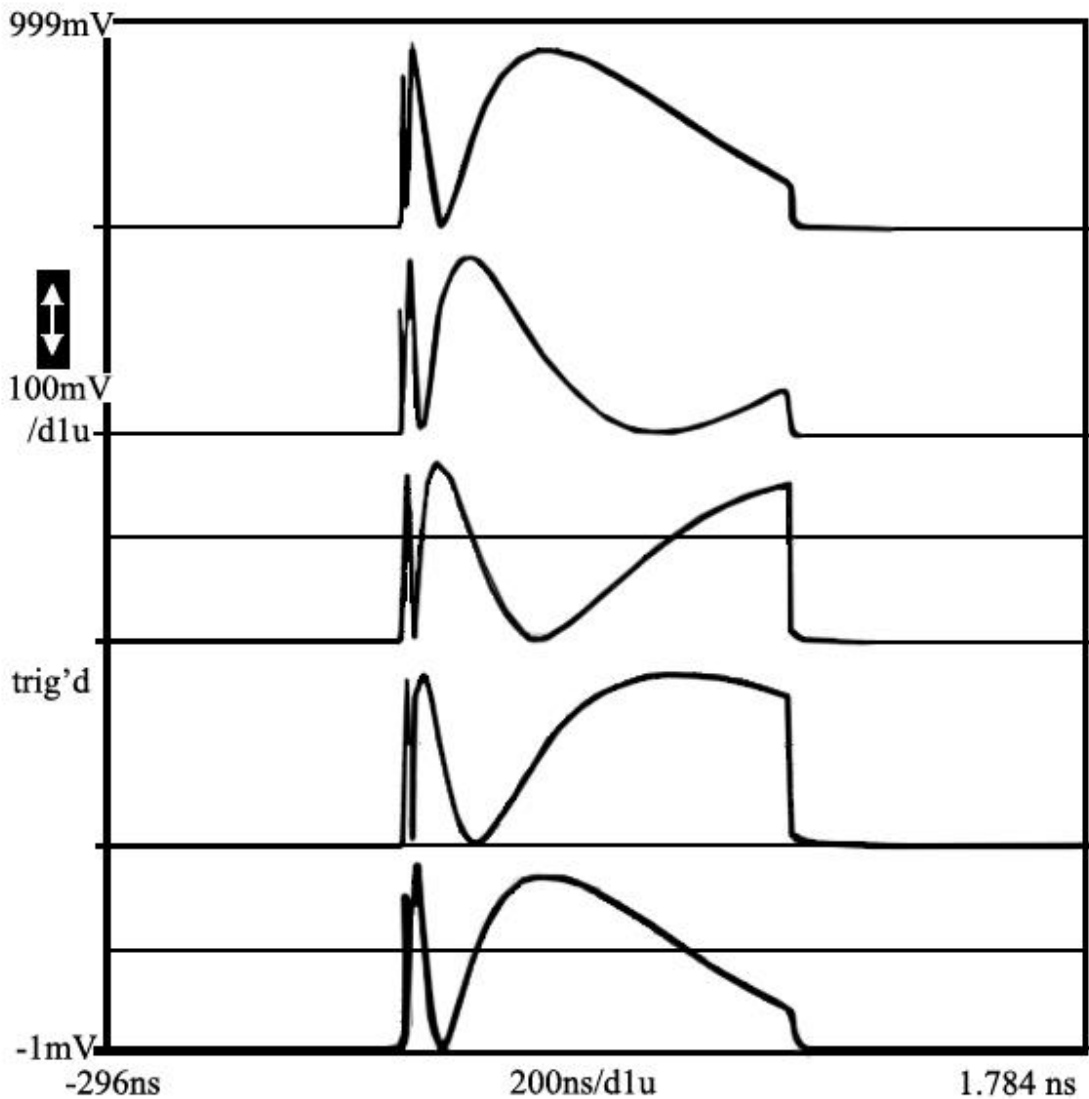
7.5-rasm. Fabri-Pero tolali sensoridan aks ettirilgan quvvatni kuzatish uchun qurilma.



7.6-rasm. Impulsli lazer nurlanishi uchun turli haroratlarda FFPI dan aks ettirilgan quvvatni ko'rsatadigan oscillogrammalar. (a) da harorat 3°C bosqichda 77°C dan 56°C gacha o'zgartirildi. Interferometr qisqa ($1,5\text{ mm}$), pulsning davomiyligi qisqa (100 ns sek) va modulyatsiya qiluvchi pulsning amplitudasi kichik edi, shuning uchun lazer chirping effekti kichik edi. (b) da harorat $1,5^{\circ}\text{C}$ bosqichda 29°C dan 23°C gacha o'zgartirildi. Uzunroq (1 sm) interferometr, uzunroq impuls kengligi (800 ns) va kattaroq modulyatsiya qiluvchi impuls amplitudasi interferometr chiqishining lazer chiyillashiga javoban chekkalardan o'tishiga olib keladi.

Agar lazer zarbasi qisqa bo'lsa, harakatlantiruvchi oqim amplitudasi kichik va interferometr bo'shlig'i qisqa bo'lsa, aks ettirilgan amplituda pulsning davomiyligi davomida deyarli doimiy bo'ladi, 7.6(a) - rasmda bo'lgani kabi. Impuls kengligi, haydovchi oqimining amplitudasi va interferometr uzunligini oshirish FFPI dan aks

ettirilgan signalning lazer chiyillashi tufayli vaqt o'tishi bilan o'zgarishiga olib keladi. Puls paytida lazer qizdirilganda, uning chastotasi va shuning uchun interferometrda aks ettirilgan quvvat vaqt o'tishi bilan o'zgaradi, xuddi 7.6(b) - rasmda bo'lgani kabi. Shunday qilib, impulsning davomiyligi davomida aks ettirilgan optik signal interferometrning chekkalaridan o'tadi.



(b)

7.6-rasm. (davomi)

Interferometrik tolali sensorni sinab ko'rish uchun doimiy to'liqinli lazer (TL) ishlatilishi mumkin. Bunday holda, aks ettirilgan optik quvvatning faza siljishiga kvaziziqli bog'liqligini olish uchun interferometrni kvadratura nuqtasida ishlatish maqsadga muvofiqdir.

Bunday sxema FFPI sensori yordamida dizel silindrlarida dinamik bosim o'zgarishlarini o'lchash uchun ishlatilgan. Ultrasonik bosimni boshqarish tizimida, fotodetektor oqimining doimiy o'rtacha qiymatini saqlab turish uchun lazer chastotasini sozlash orqali kvadratura holatini qo'lga kiritish uchun qayta aloqa amalga oshirildi.

Yagona lazerli tizimlarda chiziqli dinamik diapazon hududi p rad bilan chegaralanadi. Ushbu cheklovni bartaraf etishning passiv sxemasi bir vaqtning o'zida boshqariladigan ikkita EFPI sensori yordamida amalga oshirildi. Interferometrlar bir xil o'lchangan miqdorlarga ta'sir qiladi va bir xil yorug'lik manbasidan foydalanadi, lekin ular shunday qilinganki, ularning optik yo'llari oldinga va orqaga to'lqin uzunligining chorak uzunligining toq butun soni bilan farqlanadi. Ikkita "kvadraturali siljishli" optik signallarni tegishli qayta ishlash orqali, bitta TL lazer va bitta sensorli interferometrlardan foydalanilganda yuzaga keladigan sezgirlik nollari va faza o'zgarishi yo'nalishidagi noaniqliklarga yo'l qo'ymasdan, o'lchangan kattalikdan kelib chiqadigan fazalar siljishi haqida ma'lumot olish mumkin. 7.2 - rasimga murojaat qilib, bu sezgirlik nol/noaniqlik nuqtalari aks ettirilgan (yoki uzatiladigan) optik quvvatning maksimal va minimal nuqtalarida yuzaga keladi. Shunday qilib, bir interferometr "nol sezuvchanlik" nuqtasida bo'lsa, ikkinchisi kvadraturada bo'ladi, bu erda sezgirlik eng katta va faza o'zgarishi yo'nalishi bir ma'noda aniqlanishi mumkin.

Interferometrik sensorlarga xos bo'lgan o'zgarish yo'nalishi-ning nol sezgirligi va noaniqligini bartaraf etishning yana bir usuli yorug'lik manbasining chastotasini modulyatsiya qilishdir. Bir holatda, har bir tsikl davomida vaqtga nisbatan chiziqli optik chastotani (chiziqli "chirp") olish uchun 1,3- μm taqsimlangan qayta aloqa lazeri uchun oqim oqimi ko'p marta oshirildi. Shunday qilib, FFPI sensoridan aks ettirilgan optik signal vaqtinchalik shovqin namunasidir. Interferometrning fazali siljishi rampaning boshidan sensor signali lazerning chiqish quvvatiga mutanosib ravishda "estonani" kesib o'tgunga qadar vaqtни "hisoblash" orqali raqamli tarzda aniqlandi. Ushbu tizim va mikrokontrollerga asoslangan raqamli protsessor yordamida fazalar siljishi ko'plab π -radianlarda chekka naqshni kuzatish orqali aniq o'lchanishi mumkin.

Ko'p to'lqin uzunliklari. Bir yoki bir nechta uzluksiz yorug'lik manbalaridan bir nechta to'lqin uzunliklari, interferometrlarni yagona kogerent manbadan foydalangan holda so'roq qilishda paydo bo'ladigan sezgirlik va o'zgarish yo'nalishidagi noaniqliklarni bartaraf etish usuli sifatida ishlatilishi mumkin. Ikkita AlGaInP lazer modi orasidagi 3 nm oraliqdan foydalanib, Potter va boshqalar, uzunligi 20 mm bo'lgan EFPI rezonatoridan kvadraturali optik chiqishlarni oldi va ikki to'lqin uzunligi va uchta to'lqin uzunligi bir vaqtning o'zida nazorat qilinadigan past kogerentli superlyuminesent diod (SLD) yorug'lik manbai tomonidan boshqariladigan EFPI sensorlaridan spektral filtrlangan optik signallardan foydalangan holda shunga o'xshash yondashuv haqida xabar berilgan. Boshqa bir tajribada, kvadrat optik signallarni olish uchun EFPI sensoridan aks ettirilgandan so'ng tolali Bragg panjarasi yordamida keng polosali Yer: tolali manbadan ikkita to'lqin uzunligi tanlangan [26].

Keng polosali yorug'lik manbai. "Oq yorug'lik interferometriyasi" (WLI) keng polosali yorug'lik manbasidan foydalangan holda interferometrik o'lchovlarga ishora qiladi. Shu nuqtai nazardan, "oq yorug'lik" manba spektrning ko'rinadigan hududida chiqaradi degani emas - haqiqatan ham deyarli barcha WLI tizimlari optik tolali sensorlarni kuzatish uchun infraqizil nurlardan foydalanadi. Fabri-Pero sensorlarida qo'llanilganidek, IVR tizimi oynalar orasidagi mintaqaning optik yo'lining uzunligini aniqlash uchun mo'ljallangan. "Oq yorug'lik" atamasining ma'nosi shundaki, spektr etarlicha keng bo'lib, yorug'lik manbasining kogerent uzunligi FPI optik yo'lining oldinga va orqaga uzunligidan ancha kichikdir. WLI uchun mos yorug'lik manbalariga yarimo'tkazgichli superlyuminesent diodlar (SLD), yorug'lik chiqaradigan diodlar (YChD (LED)), chegaraga yaqin lazerli diodlar, optik pompalanadigan Er: qo'yilgan tolalar va volfram lampalar kiradi. Bu manbalar odatda bir necha o'n nm spektral kengligiga ega. Eng ko'p ishlatiladigan WLI sensori tizimining konfiguratsiyasida keng polosali manbadan yorug'lik fotodetektorga yetib borgunga qadar sezgir interferometr va mos yozuvlar interferometri tomonidan uzatiladi yoki aks ettiriladi. Yo'naltiruvchi interferometrning optik yo'li uzunligini skanerlashda, fotodetektorning chiqish signali maksimal amplitudali (markaziy

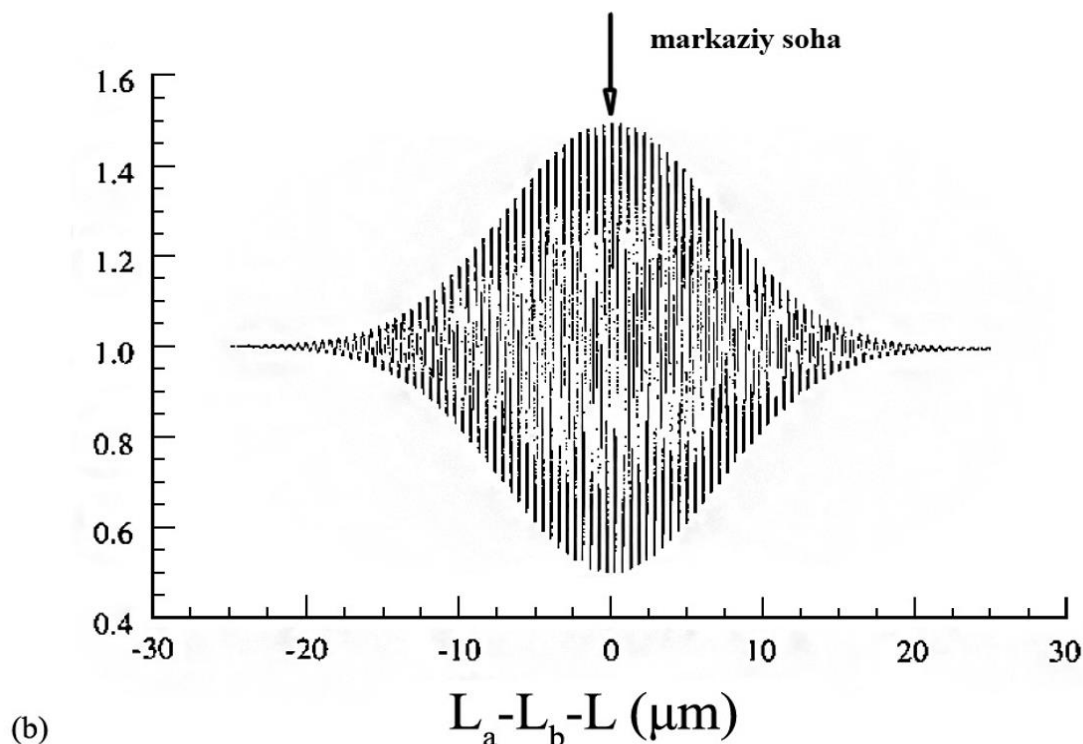
tarmoqli cho‘qqisi) interferensiya naqshidir, bu yerda mos yozuvlar interferometrining optik yo‘llarining uzunliklari farqlanadi. interferometr-sensor teng. Naqshning kengligi yorug‘lik manbasining kogerent uzunligiga proporsionaldir. Maxa-Zehnder va Fabri-Pero interferometrlari ham ishlatilgan bo‘lsa-da, eng keng tarqalgan mos yozuvlar interferometri Maykelson interferometridir.

Fabri-Pero tolali sensorni o‘qish uchun WLI tizimi sxematik tarzda 7.7(a) va optik boshqaruv signali 7.7(b) - rasmda ko‘rsatilgan. Sensorning optik yo‘li uzunligining o‘zgarishi interferensiya chekkalari naqshining lateral siljishiga olib keladi. Chiqish ko‘rsatkichi novda holatini o‘lchangan qiymatga bog‘laydigan mos kalibrlash omilini qo‘llash orqali olinadi. Skanerlangan mos yozuvlar interferometrining chekkalarning markaziy cho‘qqisiga mos keladigan aniq yo‘l uzunligi farqini aniqlash uchun chet ma’lumotlari elektron tarzda qayta ishlanadi. Markaziy bandni aniqlash asosiy masaladir, chunki shovqin bo‘lmasa ham, qo‘shni bantlar deyarli bir xil yuqori amplitudalarga ega. Markaziy bandning noto‘g‘ri aniqlanishi kamida bitta to‘lqin uzunligi bo‘yicha ikki tomonlama optik yo‘l uzunligida xatolikka olib keladi. Tarmoq amplitudasi kontrastini yaxshilash orqali markaziy tarmoqli xatolik ehtimolini sezilarli darajada kamaytiradigan yondashuv keng to‘lqin uzunligini ajratishga ega ikkita keng polosali manbadan foydalanadi.

Boshqa "oq yorug‘lik" so‘roq sxemasi skanerlash mos yozuvlar interferometridan foydalanmaydi, balki tolali interferometr tomonidan uzatiladigan (yoki aks ettirilgan) yorug‘lik spektrini o‘lchaydi. L EFPI uzunligi

$$L = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{2(\lambda_1 - \lambda_2)}, \quad (7.8)$$

Bu yerda λ_1 va λ_2 uzatish (yoki aks ettirish) spektridagi qo‘shni cho‘qqilarni ifodalaydi.



7.7-rasm. Past kogerentli (oq yorug‘lik) interferometriya yordamida interferometr fazalarining siljishini o‘lchash. (a) optik konfiguratsiya; (b) chekka naqsh. Bu yerda L - FP ning optik uzunligi.

7.4.2. Multiplekslash usullari

Fabri Pero optik tolali sensorlari qimmatbaho komponentlar sonini kamaytirish va shuning uchun umumiy tizim narxini pasaytirish vositasi sifatida bir nechta multiplekslash usullariga mos keladi.

Kosmik bo‘linishlarni ko‘paytirish. Turli to‘lqin uzunliklarida ishlaydigan ikkita keng polosali yorug‘lik manbalari va bitta elektron signal protsessorlari optik tolali tarqatish tarmog‘i orqali optik kirish uchun 32 tagacha EFPI sensorlarini kuzatishi mumkin bo‘lgan multiplekslash sxemasi tavsiflangan. Har bir sensordan keladigan yorug‘lik to‘rt portli yo‘nalishli ulagich orqali alohida fotodetektorga yo‘naltiriladi. Har bir sensor uchun o‘lchov qiymatlarini aniqlash uchun fotodetektor signallari raqamli tarzda qayta ishlanadi. Xuddi shunday fizik konfiguratsiyaga ega bo‘lgan yana bir sxema bo‘lib, unda bitta taqsimlangan qayta aloqa lazeri va bitta mikrokontrollerga asoslangan protsessor 24 tagacha FFPI sensorini kuzatishi mumkin.

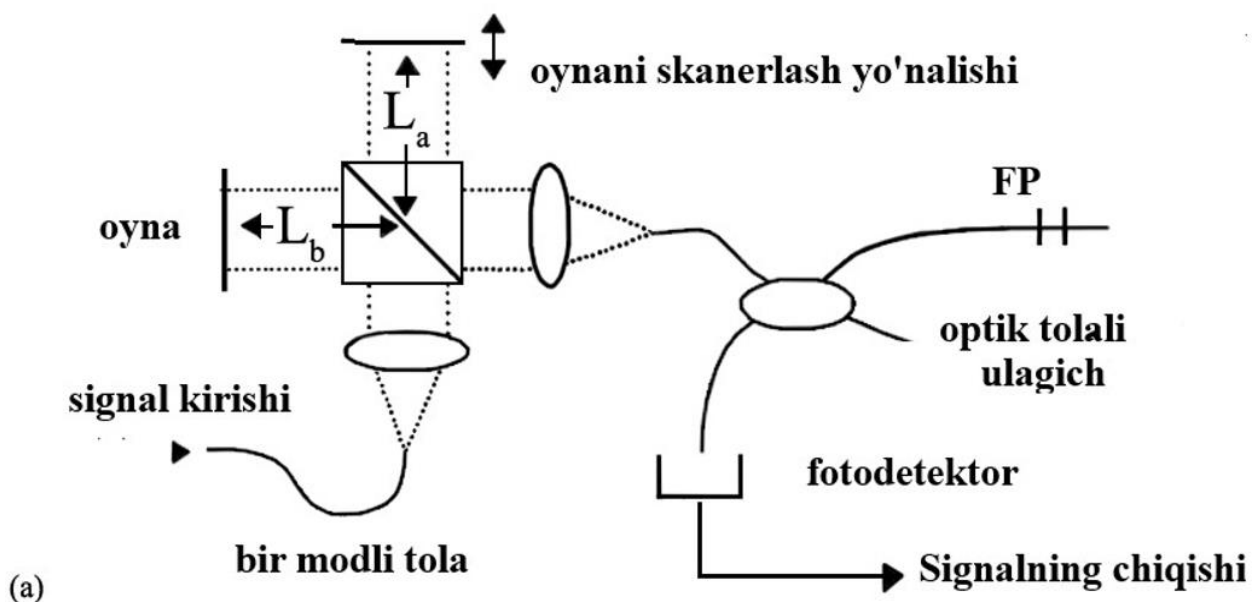
Vaqtning taqsimlash multiplekslash. Ko'zga aks ettiruvchi nazorat qilinadigan Fabri-Pero sensori impulsli yorug'lik manbasi yordamida vaqtning taqsimlash multipleksatsiyasi uchun juda mos keladi. Bunday tizimda uzatuvchi va qabul qilgich o'rtasida har xil uzunlikdagi to'lani kechiktirish liniyalari ta'minlanadi, shunda har bir lazer pulsi uchun fotodetektor har xil vaqt oralig'ida sensorlarning har biridan aks ettirilgan impulslarni oladi. Signallarni mikroprosessor nazorati ostida raqamli vositalar bilan qayta ishlash mumkin. Bunday tizimda aks ettirilgan to'lqin Rasmlari impuls boshlanishiga nisbatan belgilangan vaqt kechikishlarida analogdan raqamli o'tkazish uchun namuna olinadi va namunalar raqamli o'rtacha hisoblanadi. Yuqori sezuvchanlik uchun zarur bo'lgan interferometrlardan fazali va kvadratura signallarini impulslar orasidagi doimiy oqim oqimini lazerga moslashtirish orqali olish mumkin. Sensorlar bilan ta'minlangan FFPI vaqt ko'paytmasi lazer to'lqin uzunligidagi tebranishlar va siljishlarni tuzatish uchun ishlatilishi mumkin.

Chastota bo'linishini ko'paytirish Turli uzunlikdagi bir nechta FFPI sensorlarini chiziqli avtobusda bir-biriga yaqin joylashtirish imkonini beruvchi multiplekslash usuli lazer chastotasida chiziqli chiyillash hosil qilish uchun arra tishli oqim to'lqin 7.7 - rasmi bilan boshqariladigan yarimo'tkazgichli lazer yorug'lik manbasidan foydalanadi. Sensor uzunliklarini jiringlash tezligiga mutanosib bo'lgan asosiy uzunlikning integral ko'paytmalari sifatida tanlagan holda, FFPI sensori signallari arra tish chastotasining chiziqli ko'paytmalari bo'lgan chastotalarda o'zgaradi. Demultiplekslash elektr tarmoqli o'tkazuvchan filtrlar yordamida amalga oshiriladi.

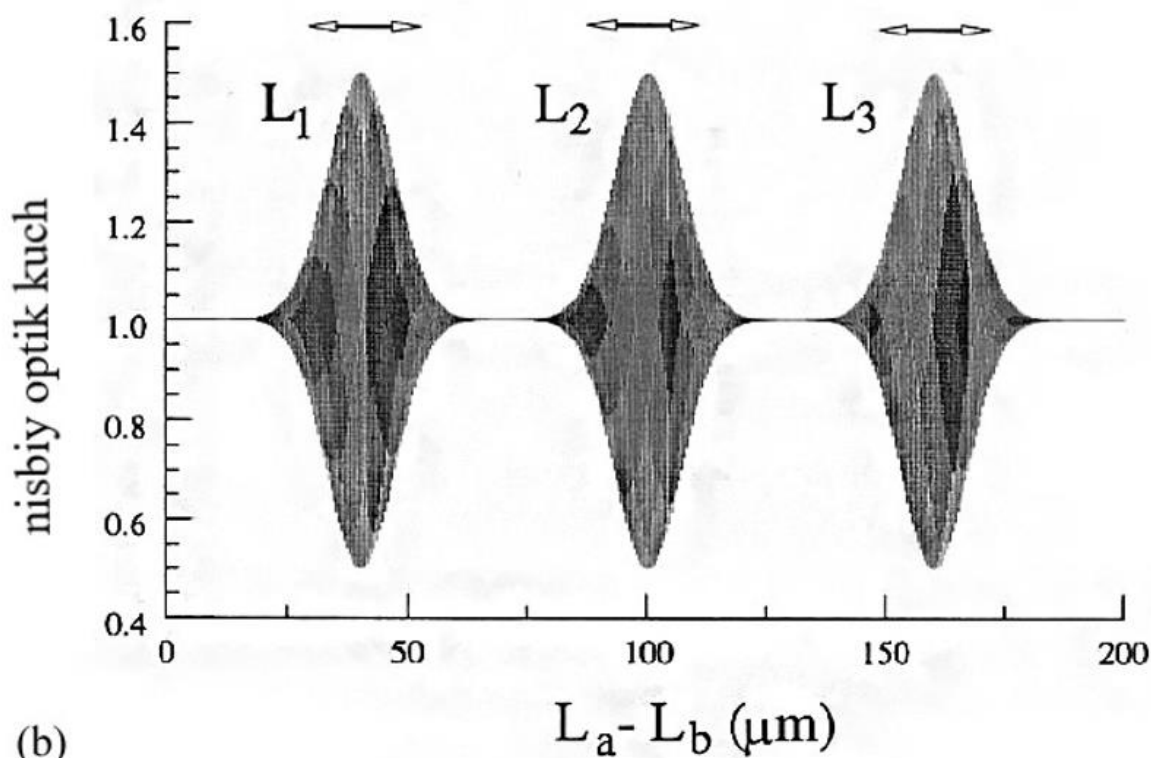
Kogerentlik multiplekslash. 7.7 - rasmdagi WLI monitoring sxemasi 7.8-rasmda ko'rsatilganidek, tolali tarmoqdagi turli uzunlikdagi Fabri-Pero sensorlarini so'roq qilish uchun kengaytirilishi mumkin. Bu sxema kogerentlik multiplekslash deb nomlanadi. Kogerentlik multiplekslash, shuningdek, so'roq qilinayotgan FPI sensoriga yorug'lik manbasining kogerentlik uzunligiga (oddiy YChD (LED) yoki SLD uchun ffi 10 mm) uzunligi bo'yicha mos keladigan mos yozuvlar interferometridan foydalanishni ham talab qiladi. Keng polosali manbadan keladigan yorug'lik fotodetektorga etib borgunga qadar sensor va mos yozuvlar interferometri tomonidan

uzatilishi yoki aks ettirilishi kerak. Agar mos yozuvlar interferometri skanerdan o'tkazilsa, har bir sezgir interferometr uchun bitta chekka tepalik kuzatiladi. Yorug'lik manbai sifatida kvarts halogen lampasi va skanerlangan Maykelson mos yozuvlar interferometridan foydalangan holda bir tajribada turli xil optik bo'shliq uzunlikdagi oltita EFPI kuchlanish sensorlari bir modli tolaning uzunligi bo'ylab ketma-ket multiplekslangan. Boshqa holatda, ikkita FFPI kuchlanish sensori yorug'lik manbai sifatida ko'pmodli lazer diodidan foydalangan holda ketma-ket va parallel tartibga ko'paytirildi.

Kogerentlik multiplekslashning yana bir namoyishi bir modli tolada ketma-ket joylashishda turli bo'shliq uzunliklariga ega bo'lgan ikkita EFPI sensorlaridan foydalangan, (7.8) tenglama yordamida spektral tahlil qilingan. Interferometr uzunliklarini aniqlash uchun. Yorug'lik manbasining kogerentlik uzunligi ikkala sensor bo'shlig'ining uzunligidan kamroq. Demultiplekslash sxemasi skanerlash mumkin bo'lgan EFPI mos yozuvlar bo'shlig'idan foydalangan, shuning uchun EFPI sensorlaridan birining shovqin namunasi faqat uning uzunligi mos yozuvlar EFPI uzunligiga chambarchas mos kelganda ko'rinadi.



7.8-rasm. Kogerentlik multipleksatsiyasini tartibga solish. (a) sensorni so'roq qilish uchun optik tizim; (b) L_1 ; L_2 va L_3 uzunlikdagi uchta Fabri-Pero interferometridan hisoblangan chekka naqshlari



7.8-rasm. (davomi)

7.5. Integratli sensorlar

Aqlli tuzilmalar uchun sensor texnologiyasining eng kerakli xususiyatlaridan biri bu sensorni strukturaviy materialga joylashtirish qobiliyatidir. Oʻrnatish sizga sirtga birlashtirilishi kerak boʻlgan anʼanaviy sensorlarga kirish imkoni boʻlmagan joylarda parametrlarni oʻlchash imkonini beradi. Baʼzi hollarda, sensorni qurilish materialiga ulash uchun ishlatiladigan epoksi qatronlar ishlamay qolgan sharoitlarda (masalan, yuqori haroratlarda) oʻrnatilgan sensor normal ishlashni davom ettirishi mumkin. Oʻrnatilgan sensor shikastlanishdan himoyalangan va dizaynning oʻzi tomonidan tashqi muhit taʼsiridan ajratilgan.

Sensorni kompozit yoki metall qismga muvaffaqiyatli joylashtirish uchun u qismning Rasmlanishi paytida yuzaga keladigan mexanik va termal stresslarga bardosh berishi kerak. Kompozitlarni quritish odatda yuqori harorat va qoʻllaniladigan bosim kombinatsiyasini talab qiladi. Strukturaviy ahamiyatga ega boʻlgan metallarni quyish jarayonida sensorga yuqori harorat va kuchli bosim

kuchlanishlari ta'sir qiladi, chunki uning qismi xona haroratiga qadar soviydi.

Termoyaviy payvandlangan dielektrik ichki nometallarga ega FFPI ham kompozitlarga, ham metallarga joylashtirish uchun nomzoddir, chunki ko'zgularning o'zi va kvars tolalarining mexanik xususiyatlari juda yaxshi. Ichki nometallarni o'z ichiga olgan bir nechta tolalar bo'yicha valentlik sinovlari o'rtacha 40 kpsi kuchlanish kuchini ko'rsatdi, bu bir xil uskunada o'rnatilgan an'anaviy ulanishlarning yarmiga teng. Ko'zgular oddiy laboratoriya bilan ishlashning stresslariga osongina bardosh beradi.

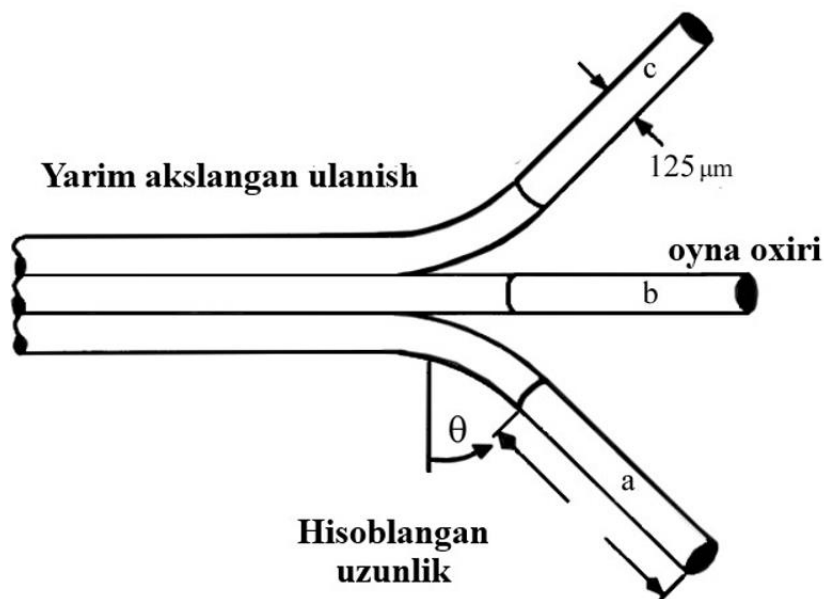
Grafit-epoksi qatroni kompozitsiyasi birinchi FFPI kostryulkalar tajribalarida ishlatilgan material edi [39]. Kompozitsiya maydoni 15 sm² va qalinligi 1,1 mm bo'lgan grafit-epoksi panelning sakkizta namunasi yaratilgan. Panelda 0=90=0=90=FFPI=90=0=90=0 ketma-ketligi bor edi, bu yerda 0 va 90 mos ravishda har bir namunadagi grafit tolalarining yuqori qatlamga nisbatan parallel va perpendikulyar yo'nalishini ko'rsatadi. Dielektrik nometalli FFPI namunaning o'rtasiga o'rnatilgan va 90 ° burchak ostida yo'naltirilgan. Namuna vakuumda 2 soat davomida 180°C va 5,3 atm bosimda quritilgan.

Boshqa bir tajribada, har biri bitta alyuminiy ichki oynaga ega bo'lgan FFPI sensorlari grafit-PEEK va Kevlar-epoksi namunalariga o'rnatilgan va Kevlar epoksisiga uch eksenli deformatsiya rozetkasi o'rnatilgan. Deformatsiya rozetkasining konfiguratsiyasi 7.9 - rasmda ko'rsatilgan. Alyuminiy plyonkaning tolaning uchida cho'kishi interferometrlarning har biri uchun ikkinchi ko'zgu hosil qildi. Sensorlar namunaga egilish kuchini qo'llashda aks ettirishni kuzatish orqali sinovdan o'tkazildi. Bir qator sinovdan o'tgan sensorlardagi faza o'zgarishi 0-500 mks oralig'ida kuchlanishning chiziqli funksiyasi ekanligi aniqlandi va sezilarli histerezis kuzatilmadi.

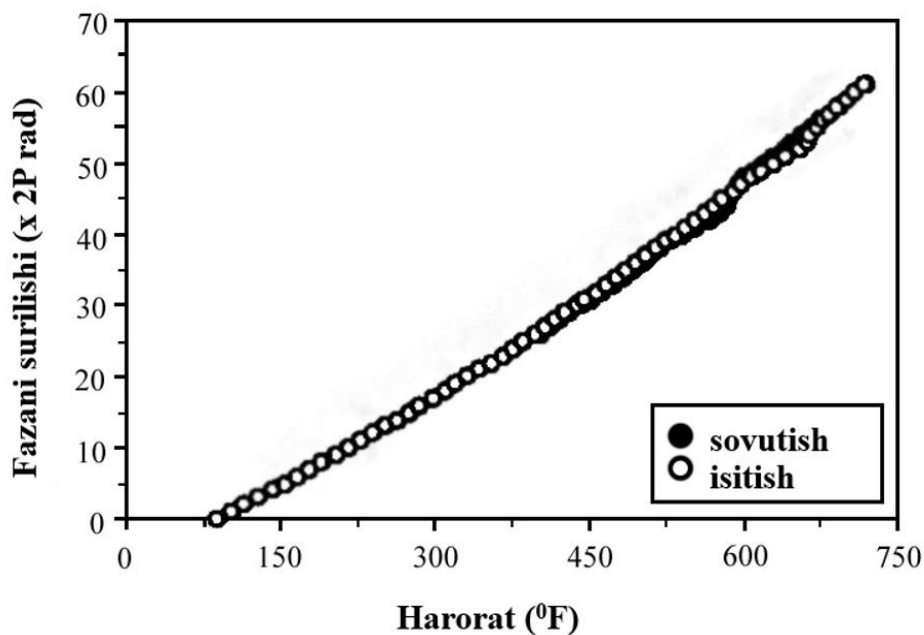
EFPI uch eksenli shtampli rozetlarning sof qatronlar va grafit-epoksi kompozitlariga kiritilishi ham xabar qilingan. Grafit-epoksi namunasi o'lchangan shtamplar grafit tolalariga parallel va perpendikulyar yo'nalishlar uchun SMT elektr kuchlanish o'lchagichlari bilan kuzatilganlarning 5% ichida edi, lekin 45° yo'nalishida ba'zi anomaliyalar kuzatildi. EFPI sensorini ILFE konfiguratsiyasi

bilan grafit-epoksi kompozit plastinkaga joylashtirish haqida ham xabar berilgan. ILFE boshqa EFPI sensorlariga qaraganda ancha kichikroq va shuning uchun kompozit matritsaning mexanik tuzilishiga nisbatan kichik buzilishlarni ifodalaydi. Bundan tashqari, u FFPI sensorlariga qaraganda lateral deformatsiyalarga nisbatan kamroq sezgir.

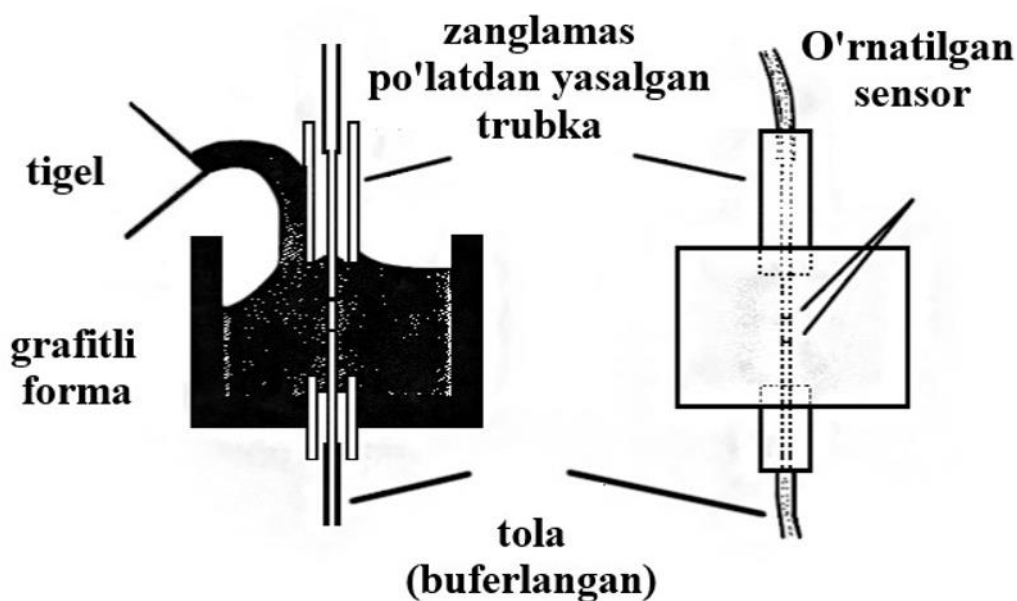
Boshqa bir tajribada dielektrik nometall va termojuftga ega PFFI 16 qatlamli grafit-PEEK panelining ikkinchi va uchinchi qatlamlari orasiga oʻrnatildi. Keyin panel standart harorat va bosim modlaridan foydalangan holda issiq pressda davolandi. 7.10 - rasmda 16,9 atm doimiy bosimda qattiqlashayotganda interferometrda ikki marta optik faza siljishining haroratga (oʻrnatilgan termojuft yordamida aniqlanadi) bogʻliqligi koʻrsatilgan. Egri chiziqning qiyaligining keskin oʻzgarishi qizdirilganda 700° F va sovutilganda 600 ° F atrofida kuzatiladi. Ushbu hodisa namunadagi polimerning dekrizalizatsiyasi (isitish paytida) yoki kristallanish (sovutilganda) natijasida yuzaga keladigan deformatsiya bilan bogʻliq deb hisoblanadi. Bunday maʼlumotlar qattiqlashuv jarayonini optimallashtirish uchun muhimdir, chunki kristallanish va kristallanish harorati harorat va bosim modlarini oʻzgartirish orqali nazorat qilinishi mumkin.



7.9-rasm. FFPI sensorlari bilan uch eksenli kuchlanish oʻlchagich rozetkasi



7.10-rasm. Grafit-PEEK kompozitsiyasini quritish paytida haroratga bog'liq bo'lgan interferometr fazasi f .



7.11-rasm. FFPI ni quyma alyuminiy qismiga joylashtirish jarayoni.

FFPI sensorlari alyuminiyga ham o'rnatilgan. Qismlar 7.11 - rasmda ko'rsatilganidek, havoda grafit qoliplariga quyilgan. To'qimalarining jarayonida havo-metall interfeysida tolaning sinishi

oldini olish uchun tolalar zanglamaydigan po‘latdan yasalgan stressni bartaraf etish quvurlari orqali o‘tkazildi, bu esa tugallangan qismgacha bo‘lgan masofadek qisqa vaqtga cho‘zildi. Alyuminiyning termal kengayishi, o‘rnatilgan FFFIdagi optik faza havodagi bir xil interferometrqa qaraganda harorat o‘zgarishiga 2,9 baravar sezgir bo‘lishiga olib keldi.

Temir-betonga EFPIni kiritish ham xabar qilingan. Optik tolali sensorlar yordamida deformatsiya o‘lchovlari taxminan 5% aniqlikdagi folga (elektr) sensorlar yordamida olingan ma’lumotlarga mos keladi.

7.6. Qo‘llanilishi

Bugungi kunga kelib, Fabri-Pero optik tolali zondlashdagi sa’y-harakatlarning katta qismi harorat, kuchlanish va bosimni o‘lchashga bag‘ishlangan. Boshqa ko‘rsatilgan o‘lchangan miqdorlarga siljish, namlik, magnit maydon va suyuqlik oqimi kiradi.

7.6.1. Haroratni o‘lchash

Interferometrik optik tolali sensorning haroratga sezgirligi nL optik yo‘l uzunligining harorat bilan o‘zgarish tezligi bilan belgilanadi. Eritilgan silika tolasidagi ichki sensor uchun optik yo‘l uzunligining o‘zgarishi issiqlik kengayish koeffitsiyentidan yuqori bo‘lgan kattalik tartibidan yuqori bo‘lgan sinishi indeksining harorat koeffitsiyenti bilan belgilanadi. Aslida, xona haroratida eritilgan kremniyning termal kengayish koeffitsiyenti texnologik qiziqishning deyarli barcha materiallaridan past bo‘ladi va kriogen haroratlarda salbiy bo‘ladi.

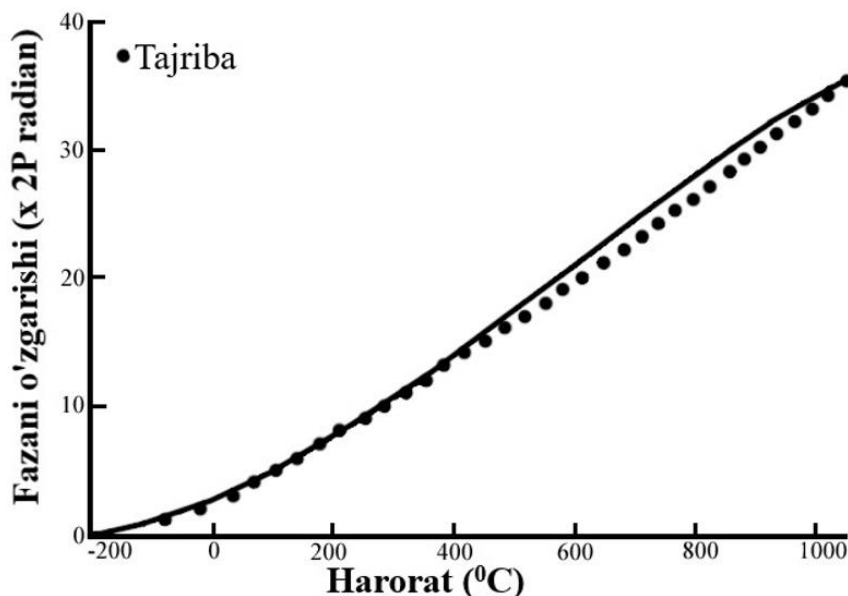
200°C dan 1050 °C gacha bo‘lgan haroratni o‘lchash uchun taxminan 2% ichki oyna aks ettiruvchi FFPI ishlatilgan [38]. Tajribaning harorat oralig‘ida hech qanday histerezis yoki ko‘zgularni aks ettirishning o‘zgarishi kuzatilmadi, garchi yuqori haroratlarda tolalar mo‘rt bo‘lib qolganligi qayd etilgan. 7.12 - rasmda ko‘rsatilganidek, sezuvchanlik kriyojenik haroratlarda eng past bo‘ladi va javob xona haroratida va undan yuqorida juda chiziqli. 20°C dan 800°C gacha

bo'lgan haroratni $0,025^{\circ}\text{C}$ o'lchamlari bilan o'lchash uchun WLI tomonidan so'ralgan FFPI ishlatilgan. Malumot interferometri piezoelektrik skanerlash bilan Maxa-Zehnder tolasi edi. Eksperimentda foydalanilgan FFPI sensorning ishlashiga salbiy ta'sir ko'rsatadigan engil ikkilanishni yo'q qilish uchun tavlendi.

EFPI harorat sensorining birinchi konstruksiyalaridan biri yupqa (0,8 mm) kremniy qatlamidan ko'pmodli tolaning uchiga, ikkinchi tomoni esa shisha plastinkaga biriktirilgan.

Bo'shliq kremniy qatlamining ikkita yuzasi bilan hosil bo'ladi va harorat sezgirligi asosan silikonning katta haroratli sinishi indeksiga bog'liq. Sensor YChD (LED)larning spektral diapazonida ikki xil to'lqin uzunligida aks ettirilgan optik quvvat nisbatini o'lchash orqali YChD (LED) yorug'lik manbai tomonidan boshqariladi. 10°C dan 60°C gacha bo'lgan oraliqda $0,02^{\circ}\text{C}$ (namuna bo'yicha o'rtacha) o'lchamlari bilan chiziqli javob kuzatildi. Boshqa bir EFPI harorat sensori zanglamaydigan po'latdan yasalgan trubkadagi havo bo'shlig'i bilan uchi-uchiga birlashtirilgan ikkita tolaning yirtilgan uchlari bilan hosil bo'lgan bo'shliqdan foydalangan. Sensor WLI yordamida nazorat qilindi va $0,006^{\circ}\text{C}$ harorat o'lchamlari $27,3^{\circ}\text{C}$ dan $62,5^{\circ}\text{C}$ gacha bo'lgan diapazonda xabar qilindi. Bu holda harorat sezuvchanligi zanglamaydigan po'latdan tolali birikmalar orasidagi hududda termal kengayish bilan bog'liq. Rezonator shu qadar uzunlikda (500 mm) bo'lganki, diffraksiya tufayli kirish tolasidan chiqadigan yorug'likning faqat kichik bir qismi aks ettirilgandan so'ng ushbu tolaning yadrosi tomonidan ushlangan va shu bilan interferentsiyaga hissa qo'shgan. Texnik jihatdan, bu struktura to'g'ri Fizeau interferometri sifatida tasvirlangan, bu erda Fabri-Pero interferometrining kichik klassi sifatida qaraladi.

O'rnatilgan FFPI ning haroratga sezgirligi panelni xona haroratidan 200°C gacha qizdirish paytida 1,3 mm to'lqin uzunligidagi interferentsiya chekkalarini kuzatish orqali sinovdan o'tkazildi. FT qiymati sifatida belgilangan



7.12-rasm. *Termojuft bilan o'lchangan haroratning funksiyasi sifatida chekkalarni hisoblash yo'li bilan aniqlangan FFPIdagi faza almashinuvi. Har bir nuqta 2p-radian faza siljishini ifodalaydi. Qattiq chiziq - bu sindirish ko'rsatkichining haroratga bog'liqligi va eritilgan silika uchun termal kengayish koeffitsiyenti haqidagi ma'lumotlardan aniqlangan nazariy chizma.*

$$\Phi_T = d\varphi/\varphi dT, \quad (7.9)$$

8,0x10⁻⁶/°C deb o'lchandi, bu sho'ng'ishdan oldingi havoda bir xil sensor uchun 8,3x10⁻⁶/°C qiymatidan bir oz kamroq. Ushbu ma'lumotlarga asoslanib, kompozitsion uchun 2,1x10⁻⁷ /°C termal kengayish koeffitsiyenti hisoblab chiqilgan.

7.6.2. Deformatsiyani o'lchash

Yuzaki o'rnatish sensorlari odatda strukturaviy materiallardagi kuchlanish, harorat va akustik bosim kabi parametrlarni kuzatish uchun ishlatiladi. O'rnatish ba'zi aqlli materiallarni ishlab chiqish harakatlarning yakuniy maqsadi bo'lsa-da, tashqi tolali sensorlar ham bu sohada juda foydali bo'lishi mumkin. Yuzaki o'rnatish sensori osongina boshqa joyga ko'chirilishi yoki almashtirilishi mumkin. Bundan tashqari, sirt o'rnatish sensorlari shunday yuqori

haroratlarda qayta ishlanishi kerak bo'lgan materiallar bilan ishlatilishi mumkin, shuning uchun joylashtirish qiyin yoki imkonsiz bo'lishi mumkin.

Strukturaviy qismdagi deformatsiyani nazorat qilishning keng tarqalgan usuli bu uning yuzasiga elektr deformatsiya o'lchagichlarni yopishtirishdir. Xuddi shunday, uzunlamasına deformatsiyaga tolali interferometrning yuqori sezuvchanligidan foydalanish mumkin. Ushbu turdagi birinchi tajribada kumush ichki oynadan hosil bo'lgan bo'shliq va kumush bilan qoplangan tolali uchi bo'lgan FFPI konsolli alyuminiy to'sin yuzasiga yopishtirildi. An'anaviy folga chidamli deformatsiya o'lchagich ham mos yozuvlar sifatida nurga biriktirilgan. Deformatsiya nurni egilishga yuklash orqali kiritilgan. Aniqlanishicha, FFPIdagi optik fazaning o'zgarishi, aks ettirilgan quvvatni kuzatish va chekkalarni hisoblash yo'li bilan aniqlanadi, 0 dan 1000 mks gacha bo'lgan rezistent qurilmadan kuchlanish ko'rsatkichlarining chiziqli funksiyasidir.

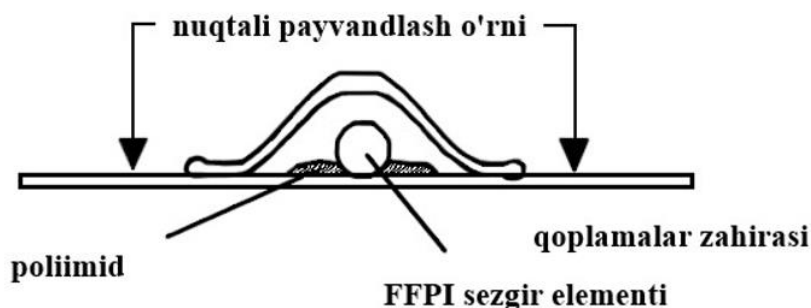
Grafit va PEEK paneliga o'rnatilgan FFPI sensorlari yordamida kuchlanishni o'lchash uchun ikkita elektr deformatsiya o'lchagich (ESG) tayyor namunaning qarama-qarshi tomonlariga, o'rnatilgan FFPI ning tepasida va ostida biriktirilgan. Deformatsiya qarama-qarshi uchlarida qo'llab-quvvatlanadigan namunaning markaziga yuk qo'llash orqali yuzaga keldi. FFPI ning kuchlanish sezuvchanligi, $\Delta\varphi = \Delta L$, ESG ko'rsatkichlari bilan optik faza siljishini solishtirish orqali $9,1 \times 10^6$ rad/m deb aniqlandi. Bu havodagi o'xshash tola uchun o'lchangan $\Delta\varphi = \Delta L$ qiymatidan taxminan 18% kamroq. Deformatsiyani o'lchash ham yuqori haroratda amalga oshirildi. Ikkala optik tolali va ESG sensorlari 200 F da yaxshi chiziqlilikni ko'rsatdi. Biroq, ESG javobi 300 F da beqaror edi, bir xil chiziqli yuk modlari FFPI sensori uchun 200 F va 300 F da kuzatildi.

7.13-rasmda ko'rsatilgan qadoqlash usuli, tolali interferometr zanglamaydigan po'latdan yasalgan ingichka, tekis chiziqqa biriktirilgan bo'lib, FFPI ni spotli payvandlash yordamida metall konstruksiyaga o'rnatish uchun mo'ljallangan. Epoksi biriktirishdan farqli o'laroq, bu usul yomg'irli havoda nam yuzaga qo'llanilishi mumkin. Bunga qo'shimcha ravishda, qistirmaga o'rnatilgan sensorni kalibrlash sensori sinovdan o'tkazilayotgan tuzilishga

to'g'ridan-to'g'ri epoksi bilan bog'langanidan ko'ra ishonchliroqdir. Ushbu sensorlardan 12 tasi temir yo'l ko'prigining yuk ko'taruvchi elementlariga va relsga o'rnatilib, ularda bir yildan ortiq vaqt davomida poyezdlar harakati natijasida yuzaga kelgan deformatsiyalar to'g'risida ma'lumotlar to'plangan. Yaqin atrofdagi elektr kuchlanish o'lchagichlari yordamida olingan ma'lumotlar bilan ajoyib kelishuv mavjud edi.

Juda yuqori harorat bilan kompensatsiyalangan deformatsiya sezuvchanligiga erishish uchun mo'ljallangan tajribada ikkita birlashtirilgan uzun bo'shliqli FFPI (ffi1 m) ishlatilgan, chastotali skanerlash 1,3 mm Nd:YAG lazeri bilan so'roq qilingan. FFPIlardan birining rezonatori eritilgan silika tolasi, ikkinchi interferometrning rezonatori esa fluoridli shisha tola edi. Ushbu tolali materiallardagi faza almashinuvining harorat koeffitsiyentlari juda farq qiladi, shuning uchun ikkita FFPI ma'lumotlari yuqori harorat kompensatsiyasiga erishish uchun qayta ishlanishi mumkin. Ushbu usul yordamida 1,5 ne ga teng deformatsiya sezuvchanligiga erishildi.

Har qanday optik chastotada ikkita panjara bo'limlari o'rtasida Fabri Pero interferometri hosil bo'ldi, bu chastotada aks ettirish cho'qqilarini ko'rsatdi. Panjaralar jiringlaganligi sababli, Fabri-Peroning bepul spektral diapazoni 30 nm spektral diapazonda sensorni so'roq qilish uchun ishlatiladigan sozlanishi lazerning optik chastotasiga bog'liq edi. Deformatsiya 3 dan 1300 μe gacha bo'lgan oraliqda aniq o'lchandi.



7.13-rasm. Nuqtali payvandlash yo'li bilan metall sirtga mahkamlash uchun kuchlanish o'lchagichning dizayni.

FBG oynali boshqa FFPI Yer bilan WLI yordamida so'roq qilindi: keng polosali tolali manba va skanerlangan tolali mos yozuvlar Maxa-Zehnder interferometri. Sensor uchun bir modli polyarizatsiyani saqlaydigan tola ishlatilgan. Qo'pol kuchlanish haqidagi ma'lumot FBG dan aniqlangan maksimal aks ettirishning to'lqin uzunligini o'lchash yo'li bilan olingan va nozik ruxsat FFPI uchun o'lchangan faza siljishidan olingan. 800µe aniq o'lchov diapazoni bilan deformatsiya sezuvchanligi haqida xabar berilgan.

Yuzaki FFPIlar kuchlanishni kuzatish uchun ham ishlatilgan. Bunday holda, bir mod va ko'p modli tolalarning yirtilgan uchlarini ajratib turadigan havo bo'shlig'i odatda bir necha millimetrdan bir necha yuz millimetr uzunlikdagi EFPI bo'shlig'ini hosil qiladi. Tolalarning hizalanishi tolalar kiritilgan silika trubkasi bilan ta'minlanadi. Tolalarning har biri bo'shliqqa yaqin joyda bo'ylama yo'nalishda erkin harakatlanadi, lekin kvars trubkasi yoki boshqariladigan namuna bilan bog'langanligi sababli uzunligi bo'ylab bir nuqtada cheklangan. Ulanish nuqtalari orasidagi masofa - bu o'lchov uzunligi deb nomlanuvchi sensorning chiqishiga ta'sir qiladigan hududning uzunligi. EFPI odatda aks ettirishda nazorat qilinadi, kirish va aks ettirilgan yorug'lik bir modli tola orqali uzatiladi.

Bir tajribada ikkita EFPI bir-biriga yaqin joylashgan keramik material yuzasiga yopishtirilgan. Ikki sensordagi rezonatorlarning uzunligi bir oz boshqacha edi, shuning uchun fazaning oldinga va orqaga siljishi taxminan $\Delta = 2$ radian bilan farqlanadi. Ikki sensorning chiqishini bir vaqtning o'zida kuzatib borish orqali, faza almashinuvidagi o'zgarish yo'nalishini aniqlash va sezgirlikni bekor qilishdan qochish mumkin. Seramika 25°C dan 600°C gacha bo'lgan harorat davrlariga duchor bo'lganda, sensor ma'lumotlari materialdagi yoriqning kengayishi haqida ma'lumot berdi. $\varepsilon/s. 0,8n\varepsilon/\sqrt{Hz}$

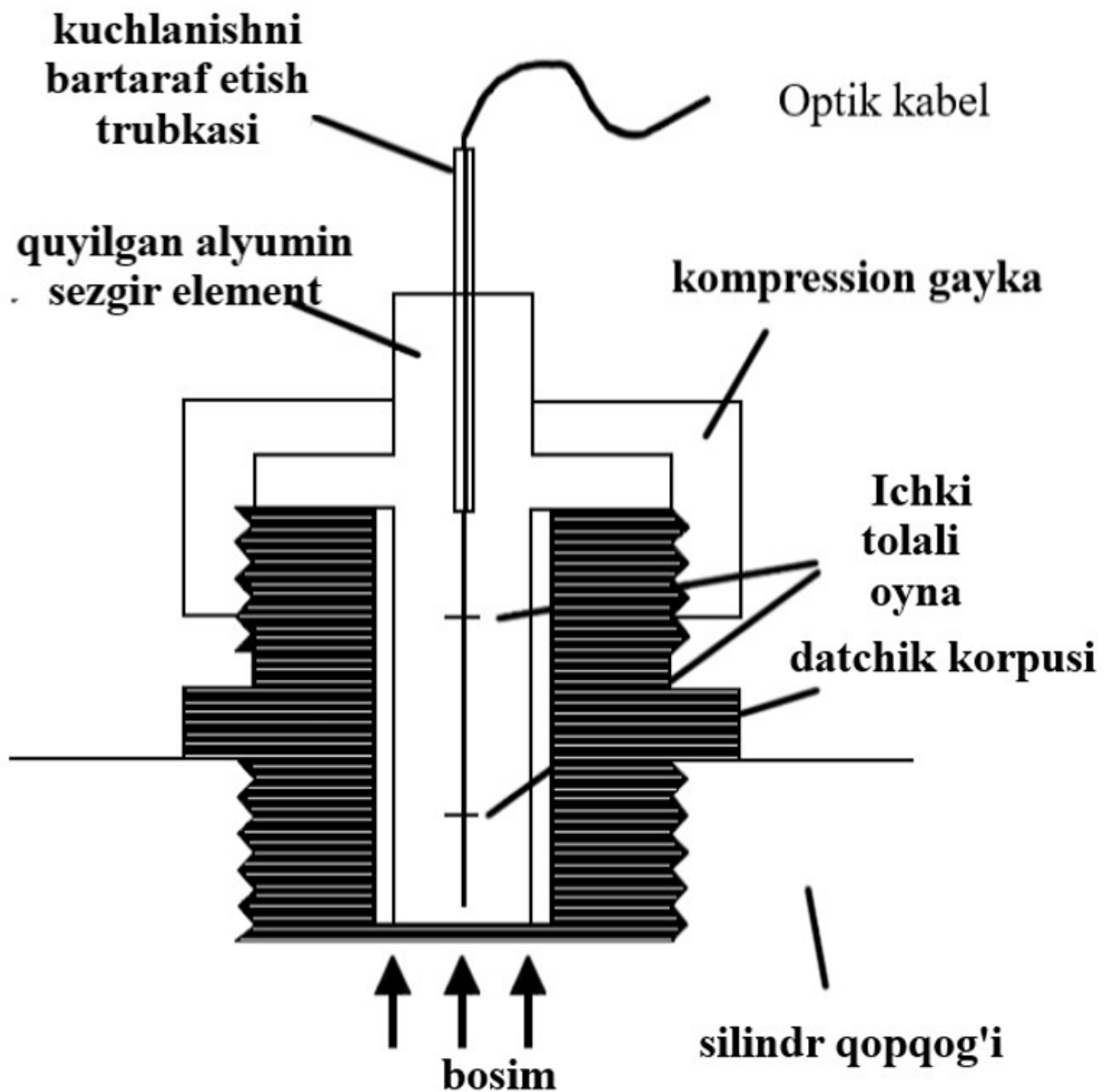
ILFE konfiguratsiyasiga ega EFPIlar kuchlanishni o'lchash uchun ham ishlatilgan. Bir tajribada grafit-epoksi qatron plastinkasiga o'rnatilgan EFPI namunaga tushgan yuk ta'siridan keyin dinamik deformatsiyani o'lchadi. Boshqa bir tajribada, metall tayoqqa biriktirilgan EFPI sensori snaryad zarbasiga bo'ylama kuchlanish reaksiyasini o'lchadi. Signalni qayta ishlash sxemasi 10

ε/s gacha bo'lgan kuchlanish tezligiga javob berish uchun mo'ljallangan. Ikki to'liq uzunlikdagi o'qish tizimining shovqin darajasini aniqlash uchun o'tkazilgan joy almashinuvi o'lchovlari kuchlanishni o'lchash sezgirligi uchun $0,8n\varepsilon/\sqrt{Hz}$ taxminini berdi.

7.6.3. Bosimni o'lchash

FFPI sensorlarining deformatsiyaga yuqori sezuvchanligi ichki yonuv dvigatellarida gaz bosimini o'lchash uchun ishlatilgan. Ko'pgina dvigatellar yonish kamerasida bosimga duchor bo'lgan yonilg'i quyish valfi kabi element silindr boshiga murvat bilan bog'langan tarzda ishlab chiqilgan. Dvigatelning aylanish jarayonida murvatlarning uzunlamasına deformatsiyasining o'zgarishi yonish kamerasidagi bosimga taxminan proporsionaldir. Shunday qilib, ushbu murvatlardan birida ochilgan teshikka epoksi bilan to'ldirilgan FFPI vosita bosimini o'lchash uchun ishlatilishi mumkin. Yaqinda tsilindr ichidagi sensor 7.14 - rasmda ko'rsatilgan konfiguratsiya bilan ishlab chiqildi, unda FFPI sezgir elementi metall novda o'qi bo'ylab o'rnatilgan bo'lib, u keyinchalik pastki devor qalinligi 0,5 mm bo'lgan metall korpusga o'rnatiladi. (diafragma). Korpusning ustki qismidagi gayka metall tayoqning engil siqilishini hosil qilish uchun mahkamlanadi. Sensor silindr boshidagi tishli teshikka o'rnatiladi. Adapter gazning teshikka yetib borishidan oldin sovishini ta'minlab, yonish jarayonida yuzaga keladigan tez harorat o'zgarishlarining ta'sirini susaytiradi, shuning uchun termal kompensatsiya talab qilinmaydi. FFPI olov sensorlarining hech biri tashqi sovutish bilan ta'minlanmagan. Ushbu sensorlar 200-300 °C oralig'idagi haroratga ta'sir qiladigan yirik tabiiy gaz dvigatellarida yuz minglab soat davomida ishlatilgan. Suv bilan sovutilgan piezoelektrik mos yozuvlar sensorlari bilan kelishuv 7.15 - rasmdagi ma'lumotlarda bo'lgani kabi doimiy ravishda 1% dan yaxshiroqdir. Yorug'lik manbai sifatida taqsimlangan qayta aloqa lazerini o'z ichiga olgan bitta signal konditsioneri bilan 24 tagacha sensori boshqarish mumkin.

Optik tolali Fabri-Pero interferometri bilan bosimni o'lchash bo'yicha birinchi EFPI-diafragma konfiguratsiyasidan foydalangan. Diafragma ko'p modli tola o'rnatilgan shisha substratga yopishtirilgan nozik ($f/4$ mm) silikon membrana edi. Bo'shliqning uzunligi 1,4-1,7 mm oralig'ida edi. Ushbu sensorning ruxsati va aniqligi 1 mmHg ekanligi xabar qilingan. 750-1050 mm Hg bosim oralig'ida. Ushbu sensor miya shikastlanishi bilan og'riqan bemorlarda intrakranial bosimni kuzatish kabi biomedikal ilovalar uchun ishlab chiqilgan.



7.14-rasm. Ichki yonuv dvigatelining silindrlaridagi bosimni o'lchash sensori.

Biyomedikal ilovalar uchun ishlab chiqilgan yana bir sensor, past kogerentli interferometriya bilan so'roq qilingan uzun bo'shliq (500 mm) diafragma asoslangan EFPI, o'rtacha 0,06 mm Hg bosim ruxsatiga erishdi. Art. 0-360 mm Hg oralig'ida. Art. Ushbu sensorda 5 mm qalinlikdagi zanglamaydigan po'latdan yasalgan diafragma Pyrex trubasiga ulangan. Harorat kompensatsiyasi bosimli muhitdan ajratilgan birlashtirilgan EFPI harorat sensori tomonidan ta'minlandi.

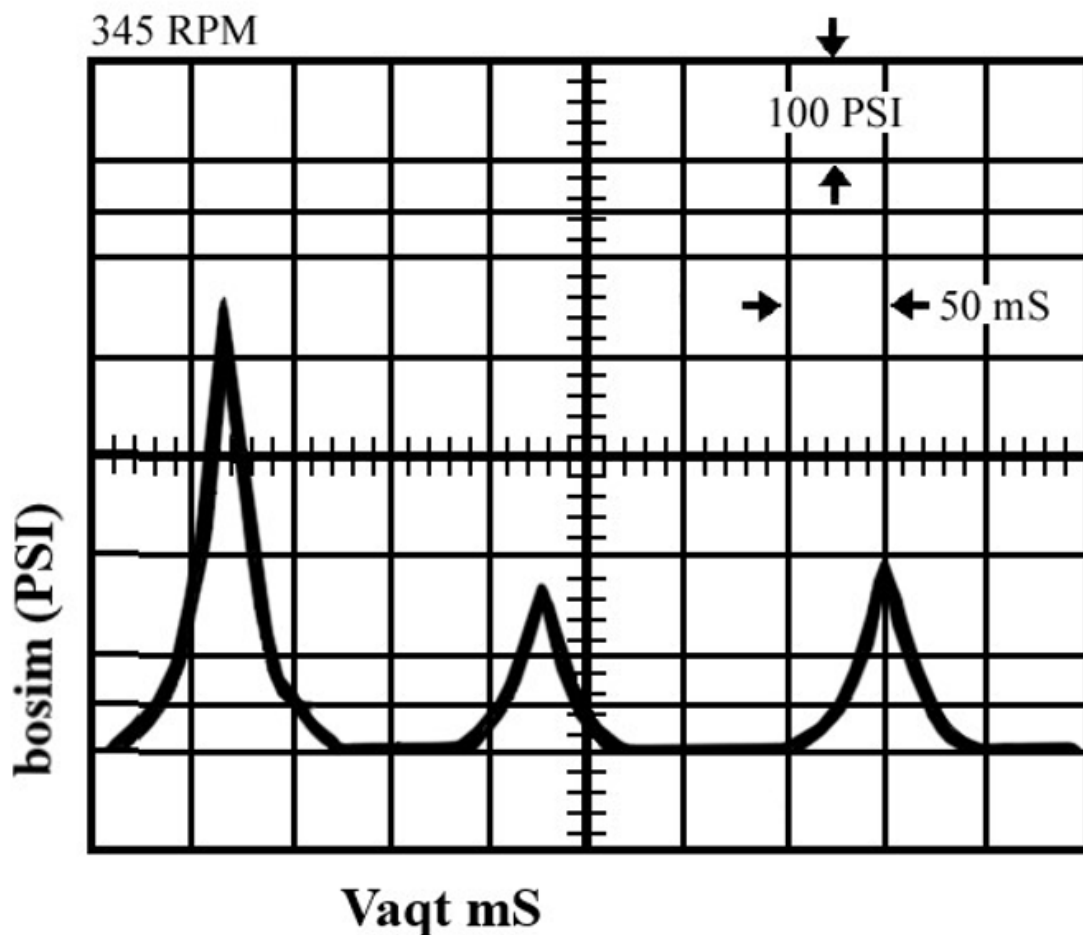
Diafragma EFPI sensorlarining yana bir qo'llanilishi shamol tunnelleri uchun yuqori vaqt va fazoviy ruxsatga ega bosim profil-larini o'lchash uchun mo'ljallangan optik ko'p kanalli transduserlar qatoridir. Silikon diafragmalarning qalinligi taxminan 20 mm, bo'shliq uzunligi esa 55 mm edi. Ikkilamchi lazerli so'roq qilish texnikasi 32 matritsa elementining har biri uchun kvadratura signallarini taqdim etdi. Bosim o'lchamlari 0,1 psi edi. dyuymli chastotali javob bilan 50 kHz gacha.

Diafragma asoslangan EFPI'lar sezgir mikrofonlar sifatida ham ishlatilgan. Bir holatda, diafragma sifatida yupqa metallashtirilgan Mylar membranasi bilan boshqaruv yorug'lik manbai sifatida He-Ne lazeridan foydalangan holda 65 dB dinamik diapazonda 20 Hz-3 kHz chastota diapazonida tekis javobga erishildi. Boshqa bir EFPI mikrofonni bosimga sezgir bo'shliq sifatida ko'pmodli tolaning oxirida 50 mm polietilen tereftalat (PET) plyonkasidan foydalangan. Sensorni so'roq qilish uchun geliy-neon lazer ishlatilgan, uning siljishi kvadraturaga yaqin edi. Minimal akustik shovqin darajasi 25 MHz tarmoqli kengligida 15 kPa edi.

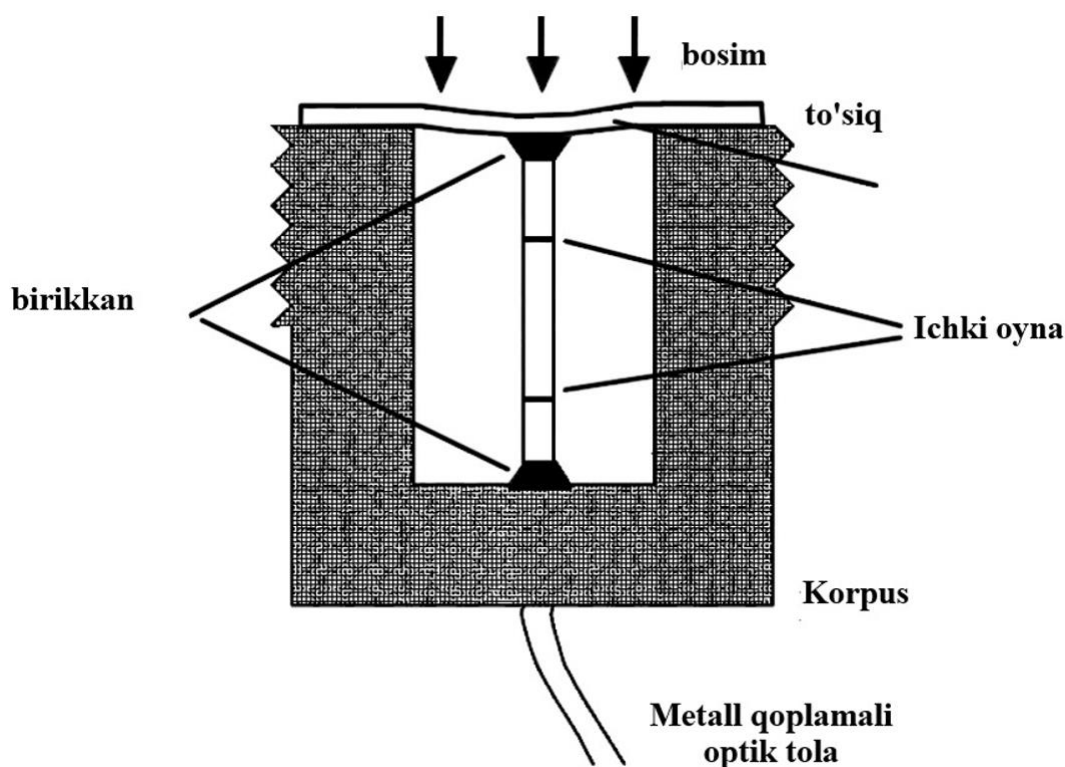
Diafragma bosimi sensori FFPI haqida ham 7.16 - rasmda xabar berilgan, unda FFPI o'z ichiga olgan tolaning uchi yupqa (f 50 mm) zanglamaydigan po'latdan yasalgan diafragma bilan bog'langan. Tola kuchlanish ostida bog'langan, shuning uchun bosim ostida diafragmani burish FFPI'dagi stressni kamaytiradi. 0 dan 100 Torr oralig'ida 0,4 Torr sezgirligi haqida xabar berilgan.

FFPI ni strukturaviy materiallarga joylashtirish imkoniyati uni ultratovushli buzilmaydigan sinovda (NDT) bosim o'tkazgich sifatida ishlatishni taklif qiladi. An'anaviy NDT tadqiqotlarida ultratovush to'lqinlarini tetiklash va aniqlash uchun namuna yuzasiga piezoelektrik o'zgartirgichlar (PZTs) joylashtiriladi. Qabul qiluvchi

transduserni materialga chuqur joylashtirish imkoniyati ommaviy namunaning xususiyatlari haqida yangi ma'lumotlarni olish imkoniyatini ochadi. Masalan, kompozitlardagi delaminatsiyalar yoki metallardagi yoriqlarni yaxshiroq aniqlash va joylashtirish mumkin. Grafit-epoksi kompozit namunasi yuzasida joylashgan PZT sensori bilan o'tkazilgan tajribalar 100 kHz dan 5 MHz gacha chastota diapazonida o'rnatilgan FFPI dan akustik javob berdi. Boshqa bir tajribada 5 MHz chastotali akustik to'lqinlar epoksi qatron plastinkasiga o'rnatilgan FFPI sensori tomonidan kuzatildi. Transduser tomonidan hosil qilingan akustik siqish to'lqini toladagi yorug'lik bilan o'zaro ta'sir qiladi va optik deformatsiya effekti tufayli faza siljishiga olib keladi. Sensorning chiqish signaliga faqat oynalar orasidagi mintaqadagi akustik to'lqin hissa qo'shadi.



7.15-rasm. Silindr bosimi sensori FFPI bosimi va bitta silindrli noto'g'ri yong'in dvigatelida o'lchangan vaqt.



7.16-rasm. Diafragma FFPI bosim o'tkazgich.

Alyuminiy bilan to'ldirilgan FFPI 0,1 dan 8 MHz gacha bo'lgan chastota diapazonida sirtga o'rnatilgan PZT transduser tomonidan chiqarilgan ultratovush to'lqinlarini aniqlash uchun ham ishlatilgan. Boshqa bir tajribada alyuminiy blok yuzasiga yopishtirilgan EFPI 1 MHz chastotada piezoelektrik transduser tomonidan chiqarilgan sirt akustik to'lqinlarini aniqlash uchun ishlatilgan. Sensordan fazali va to'rtburchak signallarni olish uchun 0,78 mm va 0,83 mm lazerli ikkita to'lqinli sxema ishlatilgan. EFPI shuningdek, alyuminiy namunasi yuzasiga qalam qo'rg'oshin sinishi natijasida paydo bo'lgan akustik shovqin portlashini aniqladi.

7.6.4. Boshqa ilovalar

Deplasman sensori VLI bilan 0,83 nm superlyuminestsent dioddan foydalangan, bir modli tolaning uchi va harakatlanuvchi oynadan hosil bo'lgan rezonatorning uzunligini o'lchash uchun.

Statik sezuvchanlik 6,1 nm Hz-1/2 sifatida baholandi. To'rtbur-chaklar siljishi va WLI so'rovi bilan EFPI yordamida boshqa joy almashinuvini o'lchash tajribasida 150 mm maqsadli harakat orali-g'ida 0,5 mm takrorlash va 1,5 mm aniqlik olindi. Boshqa holatda, behushlik qilingan toshbaqaning ichki qulog'idagi siliyer tupining fiziologik harakatini o'lchash uchun 30 nm siljish sezgirligiga erishildi.

Namlik EFPI bilan o'lchangan birinchi atrof-muhit parametr-laridan biri bo'lgan tajribada TiO₂ plyonkasida eritilgan silika tolasi uchida suvning so'rilishi plyonkaning optik qalinligining o'zgarishiga olib keldi. 0,8 mm diodli lazerning aks ettirilgan optik quvvati 0% dan 80% gacha bo'lgan namlik oralig'ida nisbiy namlikning monotonik funksiyasi ekanligi aniqlandi.

100 nT dan 35000 nT gacha magnit maydon sensori sifatida konfiguratsiyaga ega EFPI sensoridan foydalandik. unda multimode tolasi Metglas (Fe_{77,5} B₁₅Si_{7,5}) sim bilan almashtirildi. Atrofdagi magnit maydonning o'zgarishiga javoban Metglas o'lchovli o'zgarishlarga uchraydi, bu Metglas simining uchi va uchuvchi nurni oldinga va orqaga uzatuvchi bir modli tolaning uchi o'rtasida hosil bo'lgan havo bo'shlig'ining uzunligiga ta'sir qiladi. Suyuqlik oqimi tezligini o'lchash uchun quvurga o'rnatilgan FFPI sensori ishlatilgan. Tolani himoya qiluvchi moslashuvchan polimer trubkasi vorteks hosil bo'lishi uchun yadrolanish nuqtasi bo'lib xizmat qiladi, bu jarayon tolada vaqtinchalik stresslarni keltirib chiqaradi. Ushbu "vorteks" optik tolali oqim o'lchagich bilan o'lchanadigan signalning chastotasi 0,14 dan 3,0 m / s gacha bo'lgan suyuqlik tezligiga mutanosib ekanligi eksperimental ravishda aniqlandi.

7.7 Xulosalar

Turli ilovalar uchun ichki (FFPI) va tashqi (EFPI) Fabri-Pero optik tolali sensorlar uchun bir qator konfiguratsiyalar ishlab chiqilgan. FFPI va EFPI sensorlari kogerent (lazer) yoki past kogerent yorug'lik manbalari yordamida optik jihatdan so'roq qilinishi mumkin va ikkalasi ham fazoviy, vaqtinchalik, chastotali va kogerent multiplekslash usullariga mos keladi. Ular texnologik

ahamiyatga ega bo'lgan materiallarga, shu jumladan kompozitlar va metallarga kiritilishi mumkin. Ular harorat, kuchlanish, bosim, siljish, magnit maydon va oqim o'lchovlari uchun yuqori sezuvchanlik, dinamik diapazon va javob tezligini ta'minlashi mumkin.

Tolali sensorlarni qo'llash ba'zilar o'n yil oldin kutilgandek tez rivojlanmagan. Biroq, tijorat sensorlarining mavjudligi. Fabri-Pero kengaymoqda va kelajak uchun mustahkam texnologik poydevor yaratildi. Biotibbiyot dasturlari, harbiy va tijorat razvedkasi, sanoat uskunalari monitoringi va neft va gaz sanoatidagi quduqni qo'llash keyingi o'n yil ichida tez o'sishni kutish mumkin bo'lgan to'rtta sohadir. Texnologiyadagi yutuqlar, ishlab chiqarish hajmlarining ortishi va multiplekslashning keng qo'llanilishi Fabri-Pero tolali sensorlarni tobora ko'proq bozorlarda raqobatbardosh qilishlari kerak. Turli o'lchangan qiymatlar uchun sensorlar umumiy bir modli optik tolali avtobus bilan optik tarmoqlar burchakda o'zaro bog'langan. Ilgari bo'lgani kabi, tolali sensor texnologiyasi tolali telekommunikatsiyalarning portlovchi o'sishi tufayli componentlarning jadal rivojlanishidan foyda olishda davom etadi.

8-BOB. POLARIMETRIK TOLALI SENSORLAR

8.1. Polarimetrik tolali sensorlar tarixi

So‘nggi 20 yil ichida keng ko‘lamli fizik va kimyoviy parametrlarni o‘lchash uchun mo‘ljallangan optik tolali sensorlardan foydalanish bo‘yicha jadal xalqaro tadqiqotlar olib borildi. So‘nggi paytlarda komponentlar texnologiyasidagi yutuqlar va tejamkor hisoblash quvvatining oshishi ushbu sezish usullarining ko‘pchiligini laboratoriya tizimlaridan tijorat mahsulotlariga aylantirishga imkon berdi. Ushbu sensorlarning ko‘pchiligining ishchi qismlarini boshqa joylarda topish mumkin. Ushbu bob optik tola orqali o‘tadigan yorug‘likning qutblanish holatidan kelib chiqadigan o‘zgarishlarni qiziqtiradigan o‘lchangan miqdorlar bilan bog‘laydigan polarimetrik o‘lchash usullariga qaratilgan.

Bobda polarimetrik sensorlarni ishlab chiqarishda qo‘llaniladigan asosiy fizik xususiyatlar va usullar, shuningdek, amaliy jihatdan bu sensorlarning cheklovlari tasvirlangan. Ushbu bobda o‘quvchi qurilish muhandisligidan tortib to elektr ta‘minotigacha bo‘lgan turli sanoat dasturlarida o‘rganilgan bir qator o‘lchash sxemalari bilan tanishtiriladi. Bob davom etar ekan, o‘quvchi bir qator polarimetrik o‘lchash usullari bilan tanishishi va ba‘zi o‘lchov sxemalarining amaliy cheklovlari haqida tushunchaga ega bo‘lishi kerak.

8.2. Yorilik to‘lqinlarining tarqalishi

Tolali polarimetrni batafsil muhokama qilishdan oldin, biz optik tolalarda to‘lqin tarqalishining ba‘zi asoslari haqida qisqacha ma‘lumot beramiz. Ushbu material haqida batafsil ma‘lumotni boshqa joyda topish mumkin [1, 2, 3], ammo shunga qaramay, sensorning ishlashini tushunishga yordam beradigan ba‘zi asosiy ma‘lumotlarni ko‘rib chiqish foydali bo‘ladi. Yorug‘lik ko‘ndalang elektromagnit to‘lqindir.

Elektr (E) va magnit (H) maydonlari ulanadi va vaqt o‘tishi bilan o‘zgaradi - E maydoni H maydonini hosil qiladi (va aksincha). Ikkala

maydon ham bir-biriga ortogonal bo‘lib, ularning bir yo‘nalishda (z-yo‘nalishi) tarqalishini Maksvell tenglamalari (ikki o‘lchovda) bilan tavsiflash mumkin:

$$\frac{\partial^2 E}{\partial z^2} = \varepsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 E}{\partial t^2}, \quad (8.1)$$

$$\frac{\partial^2 H}{\partial z^2} = \varepsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 H}{\partial t^2}, \quad (8.2)$$

Bu yerda z – tarqalish yo‘nalishi bo‘yicha koordinata, ε_0 – elektr o‘tkazuvchanligi, μ_0 – magnit o‘tkazuvchanlik, t – vaqt. Uch o‘lchamdagi umumiy to‘lqin rasmi quyidagicha yoziladi:

$$\nabla^2 \Psi = \frac{1}{v^2} = \frac{\partial^2 \Psi}{\partial t^2}, \quad (8.3)$$

bu yerda v , tezlik

$$\varepsilon_0 \mu_0 = \frac{1}{v^2} \quad \text{yoki} \quad v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}}, \quad (8.4)$$

vakuumdagi $3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$ ga mos keladi. Elektr maydonida bu ifoda quyidagicha yoziladi:

$$\nabla^2 E = \varepsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 E}{\partial t^2}, \quad (8.5)$$

Xuddi shunday tenglama magnit maydon vektori H uchun ham amal qiladi.

Tenglamaning umumiy yechimi. (5) burchak chastotasining sinusoidini tavsiflaydi ω :

$$E = E_0 e^{i(k \cdot r - \omega t)}, \quad (8.6)$$

bu yerda E va E_0 – murakkab vektorlar va $k \cdot r = xk_x + yk_y + zk_z$, bu yerda $(k_x; k_y; k_z)$, \mathbf{P} – tarqalish yo‘nalishi komponentlari va (x, y, z) E maydoni hisoblangan fazodagi nuqtaning komponentlari..

Oddiylik uchun Oz yo‘nalishi bo‘yicha bo‘sh fazoda tarqaladigan tekis monoxromatik (bitta chastotali) to‘lqinlarni hisobga olsak, elektr maydoni uchun to‘lqin tenglamasining umumiy yechimi quyidagicha ifodalanishi mumkin.

$$E_x = e_x \cos(\omega t - kz + \delta_x), \quad (8.7)$$

$$E_y = e_y \cos(\omega t - kz + \delta_y), \quad (8.8)$$

bu yerda δ_x va δ_y — ixtiyoriy faza burchaklari. Shunday qilib, bu yechimni ikkita to‘lqin yordamida to‘liq tasvirlash mumkin: birida elektr maydoni butunlay xz tekisligida, ikkinchisi esa butunlay yz tekisligida yotadi. Agar bu to‘lqinlar z ning ma’lum bir qiymatida kuzatilsa, masalan, z_0 , ular tebranish rasmini oladi:

$$E_x = e_x \cos(\omega t + \delta'_x), \quad \delta'_x = \delta_x - kz_0, \quad (8.9)$$

$$E_y = e_y \cos(\omega t + \delta'_y), \quad \delta'_y = \delta_y - kz_0, \quad (8.10)$$

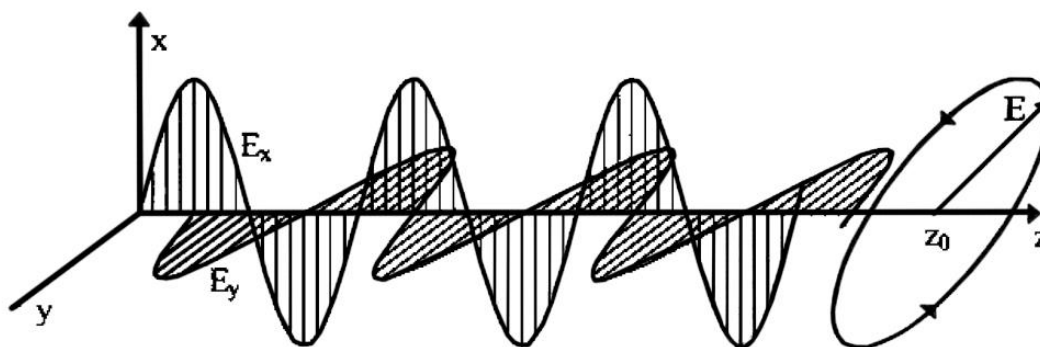
va har bir vektorning uchi chiziq bo‘ylab vaqt o‘tishi bilan sinusoidal ravishda tebranayotganga o‘xshaydi. E_x O_x yo‘nalishida chiziqli qutblangan, E_y esa O_y yo‘nalishida chiziqli qutblangan deb ataladi.

E_x va E_y yig‘indisi bo‘lgan vektorning cho‘qqisi umumiy holatda ellipsni tasvirlaydi, uning dekart tenglamasi tanlangan z_0 uchun xy tekisligida shunday ko‘rinadi.

$$\frac{E_x^2}{e_x^2} + \frac{E_y^2}{e_y^2} + 2 \frac{E_x E_y}{e_x e_y} \cos \delta = \sin^2 \delta. \quad (8.11)$$

Bu yerda $\delta = \delta_y - \delta_x$

Endi z o‘qi bo‘ylab tarqaladigan elektromagnit to‘lqinning qutblanish holatini (SOP) elektr maydon vektori E cho‘qqisi xy tekisligida chizilgan yo‘l bo‘ylab aniqlash mumkin. Polyarizatsiya-ning uchta holatini aniqlash mumkin: chiziqli, aylana va elliptik.

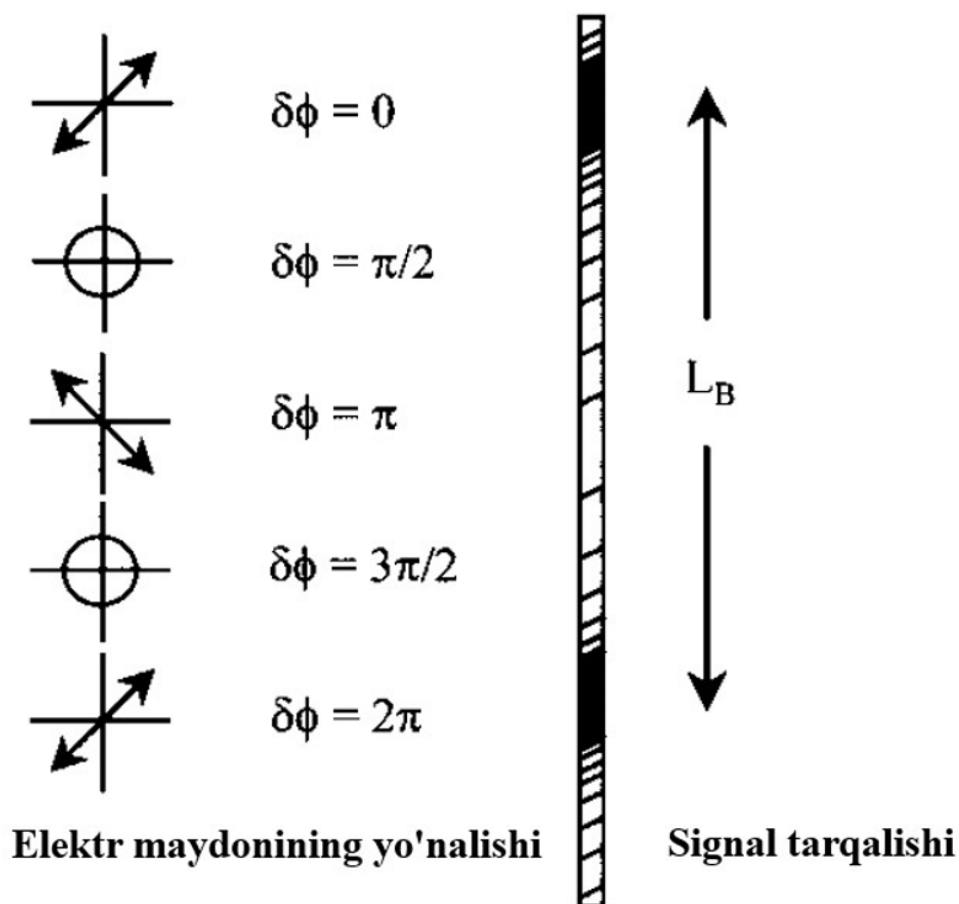


8.1-rasm. To‘lqin polyarizatsiyasi komponentlari E .

Chiziqli polyarizatsiya. z yo‘nalishida tarqaladigan chiziqli qutblangan to‘lqinda elektr maydon vektori xy tekisligida to‘g‘ri chiziq bo‘ylab tebranadi. To‘lqinni x va y o‘qlari (E_x va E_y) bo‘ylab ikkita ortogonal komponentga bo‘lish mumkin, bunda $\delta = m\pi$ yo‘l farqi bilan m butun sonidir. Agar $m = 0$ yoki juft butun son bo‘lsa, u holda ikkita komponent fazada. Agar m g‘alati bo‘lsa, u holda to‘lqin hali ham chiziqli polyarizatsiyalangan, lekin ortogonal yo‘naltirilgan (8.2 - rasimga qarang).

Doiraviy polyarizatsiya. Doiraviy qutblanish bir xil amplitudali, lekin fazalari bo‘yicha $\delta = \pm \pi/2 = p = 2$ ga farq qiluvchi ikkita chiziqli polyarizatsiyalangan to‘lqinlarning x va y o‘qlari bo‘ylab superpozitsiyasi natijasida yuzaga keladi. Bu holda, elektr maydon vektorining uchi tasvirlaydi. Faza munosabatlariga ko‘ra soat yo‘nalishi bo‘yicha (yoki teskari yo‘nalishda) aylanadigan doira. Fazalar farqi $\delta = -\pi/2 + 2m\pi$, bu erda $m = 0, \pm 1, \pm 2$. ., to‘g‘ri dumaloq polyarizatsiya bilan yorug‘lik beradi, ya‘ni manbaga qaraganida elektr maydon vektori soat yo‘nalishi bo‘yicha aylanadi; va fazalar farqi $\delta = \pi/2 + 2m\pi$ chap doiraviy polyarizatsiya bilan yorug‘likning paydo bo‘lishiga olib keladi. Shuni ta’kidlash kerakki, chiziqli qutblangan to‘lqinlar bir xil amplitudali ikkita qarama-qarshi qutblangan dumaloq to‘lqinlardan sintezlanishi mumkin. x va y o‘qlarining yo‘nalishi muhim emas va doiraviy qutblangan yorug‘likni uning amplitudasi va chap yoki o‘ng qutblanganligi bilan aniqlash mumkin.

Elliptik polyarizatsiya. Boshqa barcha holatlarda elektr maydon vektorining uchi aylanadi, bu xy tekisligidagi ellipsni tasvirlaydi va elektr maydon vektori ham kattalikda o'zgaradi. Elliptik qutblangan yorug'lik ixtiyoriy (va har xil) amplitudalar va fazalar farqiga ega bo'lgan ikkita chiziqli polyarizatsiyalangan to'lqinlarning x va y o'qlari bo'ylab superpozitsiyasidan kelib chiqadi. Elliptik polari-zatsiya uning amplitudasi, elliptikligi va ellipsning asosiy o'qlarining ba'zi qulay o'qlarga nisbatan yo'nalishi bilan to'liq aniqlanadi.



8.2-rasm. *Ortogonal qutblanishning ikki holati orasidagi optik fazalar farqi bilan L_B urish uzunligini vizual aniqlash.*

Chiziqli va dumaloq qutblanishni elliptik polarizatsiyalangan yorug'likning maxsus holatlari deb hisoblash mumkin. Qutblanishni ifodalash va qutblangan yorug'likning qutblanuvchi muhit orqali o'tishini modellashtirishning bir necha rasmiy usullari mavjud, masalan, ikki sindiruvchi materiallar. Ular orasida Jons vektorlari va

matritsalarini [1] va Puankare sferasini qurish keng tarqalgan. Jons vektorlari qutblangan yorug‘lik uchun matematik ishlov berishni ta’minlaydi, Puankare sferasi esa polyarizatsiyaning geometrik tasvirini beradi. Jones vektor matritsasini manipulyatsiya qilish bo‘yicha qo‘shimcha ma’lumot quyida keltirilgan. Ko‘pgina optik sensorlar, shu jumladan, ko‘pgina optik kuchlanish va oqim sensorlari, polyarizatsiya holatidagi o‘zgarishlarni o‘lchaydi va ularni qiziqtirgan parametr bilan bog‘laydi. Shuning uchun bu maydonlar ta’sirida qutblanish holatining evolyutsiyasini yaxshi o‘rganish muhimdir.

8.2.1. Jons matritsasi algebrasi

Jons matritsa formulasi matritsa algebrasi yordamida murakkab uzatish yo‘lidan o‘tuvchi yorug‘likning qutblanish holatini baholash imkonini beradi. To‘lqinning qutblanish holati Rasmning ikki komponentli kompleks raqami bilan ifodalanadi.

$$a = \begin{bmatrix} E_x e^{j\delta_x} \\ E_y e^{j\delta_y} \end{bmatrix}, \quad (8.12)$$

Bu yerda E_i elektr maydon vektorining amplitudasini va δ_i fazasini tasvirlaydi. Yuqoridagi ifoda elliptik qutblangan to‘lqinning umumiy holatini tavsiflaydi. Elektr maydonining yo‘nalishi x o‘qiga y burchak ostida chiziqli qutblangan yorug‘lik to‘lqini bo‘lsa, Jons matritsasi soddalashtirilishi mumkin.

$$a = \begin{bmatrix} E_x \cos\theta \\ E_y \sin\theta \end{bmatrix}, \quad (8.13)$$

Doiraviy qutblangan to‘lqinni quyidagicha ta’riflash mumkin

$$a = \begin{bmatrix} E \cos(\omega t) + i \sin(\omega t) \\ -E \sin(\omega t) + i \cos(\omega t) \end{bmatrix}, \quad (8.14)$$

Har bir to‘lqinning haqiqiy komponentlarini olish $E_x = E \cos(\omega t)$ va $-E \sin(\omega t)$ ekanligini ko‘rsatadi. $t = 0$ da x-komponent E sifatida aniqlanadi, y-komponent esa nolga teng. Vaqt o‘tishi bilan elektr maydon vektorining x yo‘nalishidagi komponenti kamayadi, y komponenti esa ortadi. Shunday qilib, yuqorida aytib o‘tilganidek, elektr vektor maydoni oldinga to‘lqinga qaragan kuzatuvchiga soat yo‘nalishi bo‘yicha aylanadi.

Jons matritsasining oddiy misoli yorug‘lik o‘tkazuvchanligini susaytiradigan, lekin polyarizatsiya yo‘nalishini o‘zgartirmaydigan yutuvchi vositadir. Bunday holda, atrof-muhitni shunday ta’riflash mumkin

$$a = \begin{bmatrix} \alpha & 0 \\ 0 & \alpha \end{bmatrix}, \quad (8.15)$$

bu yerda α bu muhitdan o‘tadigan yorug‘likning zaiflashishini ifodalaydi. Ideal polyarizator elektr maydoni bir yo‘nalishda yo‘naltilganda yorug‘likni bloklaydi va barcha yorug‘likning ortogonal qutblanish holatida o‘tishiga imkon beradi. Bunday polyarizator uchun uzatish funksiyasi quyidagicha yozilishi mumkin

$$a = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad (8.16)$$

va bu polyarizatoridan o‘tadigan yorug‘lik shu tarzda o‘zgaradi y:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_x \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (8.17)$$

Uzatish o‘qi xy tekisligida x o‘qiga y burchak ostida joylashgan chiziqli polyarizator uchun matritsa quyidagicha yoziladi [1].

$$P = \begin{bmatrix} \cos^2 \theta & \cos \theta \sin \theta \\ \cos \theta \sin \theta & \sin^2 \theta \end{bmatrix}. \quad (8.18)$$

Chiqish polyarizatsiya holati kirish polyarizatsiya holatini optik yo‘l ichidagi har bir alohida elementni tavsiflash uchun ishlatiladigan bir qator matritsa elementlariga ko‘paytirish orqali olinadi.

8.2.2. *Optik retarderlar*

Optik retarderlar – tushuvchi to‘lqinning qutblanish holatini o‘zgartirish uchun ishlatiladigan ikki sindiruvchi materiallardan tayyorlangan komponentlar. Moderatorning asosiy o‘qlaridan biri orqali o‘tadigan yorug‘lik ortogonal o‘qlar bo‘ylab o‘tadigan yorug‘lik bilan solishtirganda kechiktiriladi. Moderatorndan chiqishda ikki komponentning nisbiy fazasi dastlabki fazadan va shuning uchun polarizatsiya holatidan farq qiladi.

Oddiy va favqulodda to‘lqinlarning ikkita tarkibiy qismi (yoki ikki sindiruvchi materialning tez va sekin o‘qlari bo‘ylab komponentlar) o‘rtasidagi nisbiy fazalar farqi yoki sekinlashuvi $\Delta\phi$ quyidagicha:

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda} d(|n_o - n_c|), \quad (8.19)$$

bu yerda d – materialning qalinligi, λ – tarqaladigan yorug‘likning to‘lqin uzunligi, n_o va n_e – mos ravishda oddiy va favqulodda to‘lqin komponentlarining sindirish ko‘rsatkichlari.

Ikki komponent o‘rtasida kerakli nisbiy fazalar farqini kiritish uchun ikki sindiruvchi materialning qalinligi d tanlanadi. Ba’zi umumiy moderatorlar yarim to‘lqinli plitalar va chorak to‘lqinli plitalardir. Yarim to‘lqinli plastinka chiziqli qutblangan yorug‘lik tekisligini 90° ga aylantiradi. Tez va sekin o‘qlar bo‘ylab tarqaladigan yorug‘lik komponentlari o‘rtasida $\pi/2$ faza farqi kiritiladi.

Chorak to‘lqinli plastinka. Chorak to‘lqinli plastinka optik o‘qga 45° burchak ostida tushgan chiziqli qutblangan yorug‘likni dumaloq qutblangan nurga aylantiradi. Bunday holda, qo‘sh sindiruvchi material ikkita komponentli to‘lqinlar o‘rtasida $\pi/4$ fazali farqni keltirib chiqaradi, ular birgalikda dumaloq qutblangan yorug‘likni hosil qiladi.

8.2.3. Ikkitomonlama optik tola

Tarqaladigan to‘lqinning polyarizatsiya holatini saqlab qolish muhim bo‘lgan o‘lchov ilovalari uchun bir qator optik tolalar ishlab chiqilgan. Qoida tariqasida, bu anizotropik tolalar bo‘lib, ularga kiruvchi yorug‘likning elektr maydonining yo‘nalishiga qarab ikki xil sinishi ko‘rsatkichlariga ega. Ushbu qo‘sh sindiruvchi tolalarning ikkita ortogonal asosiy o‘qlari ular orqali o‘tadigan yorug‘likning faza tezligiga ishora qilib, tez va sekin o‘qlar sifatida tavsiflanadi. Yuqori indeksli (sekin o‘q) o‘q bo‘ylab yo‘naltirilgan nur ortogonal o‘q (tezkor o‘q) bo‘ylab yo‘naltirilgan nurga qaraganda sekinroq tezlikka ega bo‘ladi. Elektr maydoni materialning asosiy o‘qiga to‘g‘ri keladigan yorug‘likning alohida holatida, yorug‘lik qutblanishning buzilmagan holati bilan boshqariladi.

Tolaning ikki sinishi ikkita optik o‘qning sinishi ko‘rsatkichlari farqi bilan aniqlanadi.

$$B=n_s-n_f, \quad (8.20)$$

bu yerda n_s va n_f mos ravishda sekin o‘q va tez o‘qning sinishi ko‘rsatkichlari. Ikki sinishi odatda tolaning urish uzunligi, L_B , ortogonal qutblanishlar orasidagi faza almashinuvi farqi 2π bo‘lgan tolaning uzunligi bo‘yicha aniqlanadi:

$$L_B=\frac{\lambda}{B}, \quad (8.21)$$

Agar tola L_B bilan taqqoslanadigan davrga ega bo‘lgan mexanik buzilishlarga duchor bo‘lsa, ikkita ortogonal polyarizatsiya o‘rtasida kuchli quvvat birikmasi mavjud. Shuning uchun L_B ning qiymati chizish jarayonida kiritilgan buzilish davrlaridan, shuningdek, tolalar duchor bo‘lgan fizik egilish va burmalardan kamroq bo‘lishi kerak. Shunday qilib, qisqa urish uzunligi an’anaviy yumaloq tolalarning 10 sm qiymatidan ancha kichik bo‘lgan tolalarda polyarizatsiyani ushlab turishga erishiladi.

Tolaning ikki sinuvchanligini urish uzunligini o'lchash yo'li bilan tajriba yo'li bilan aniqlash mumkin [5]. Bunday usulning eng oddiy usuli - Rayleighning tarqalishi tufayli tolalar tomonidan chiqarilgan yorug'lik naqshini vizual ravishda kuzatish. Har bir sochuvchi zarracha tushayotgan yorug'likdan qo'zg'aluvchi radiatsion dipolni hosil qiladi. Radiatsiya elektr maydonining yo'nalishiga maksimal ortogonal bo'lib, nolga teng.

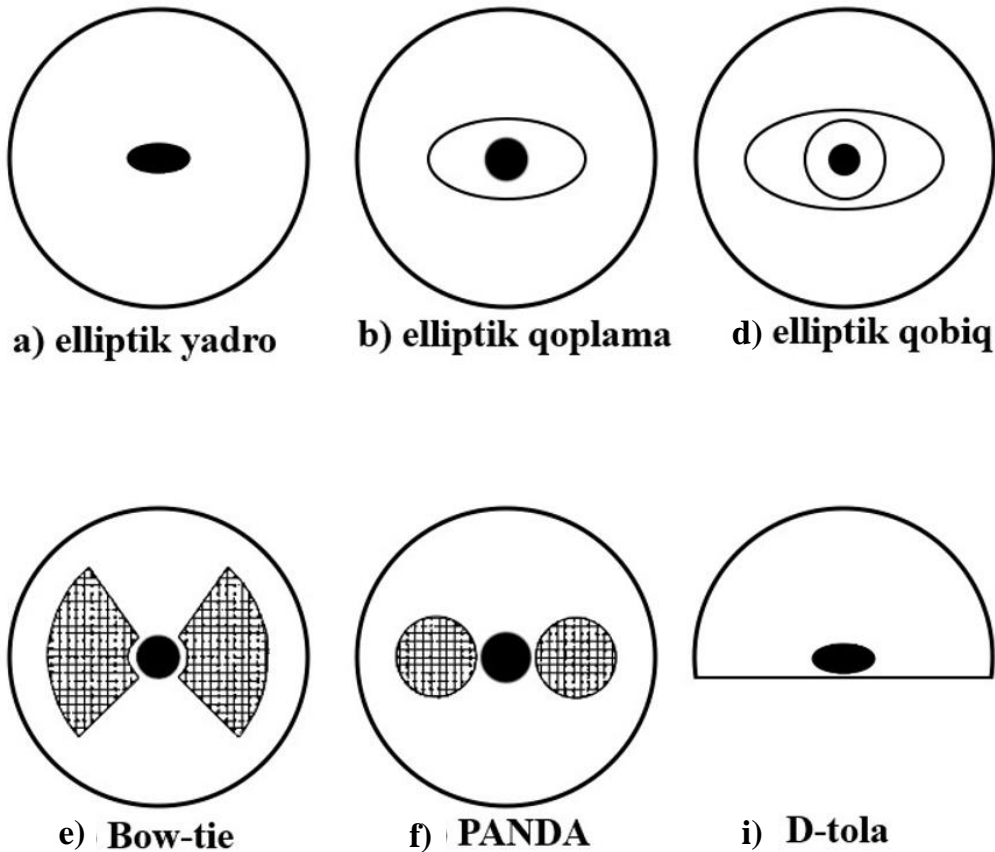
Ikkala ortogonal qutblanish bir xil qo'zg'atilgan holda asosiy modda tarqaladigan ko'rinadigan yorug'lik uchun tarqoq yorug'lik intensivligi (tolada yoqilgan qutblanish yo'nalishiga 90° da kuza-tiladi) vaqti-vaqti bilan o'zgarib turadi. Ikki ortogonal mod fazada bo'lganda nurlanish maksimal bo'ladi va p da modlar fazadan tashqarida bo'lganda nolga teng. Shuning uchun urish uzunligi, rasm- da ko'rsatilganidek, maksimal yoki minimal intensivlikning ikkita nuqtasi orasidagi masofaga teng. [2].

Yuqori ikki sinuvchan tolalar va ularning qo'llanilishi. Ikkita sinishi optik tolalarga kiritishning ikkita asosiy usuli mavjud. Birinchisi, yadro mintaqasining to'lqin o'tkazgich xarakteristika- larini uning geometriyasini shunday o'zgartirish orqali o'zgartirishga asoslanadi, shunda aylana simmetriyasi yo'qoladi va turli xil sinishi ko'rsatkichlari bo'lgan ikkita o'q hosil bo'ladi. Odatda elliptik yadro tolasi sifatida tanilgan bu geometrik ikki sindiruvchi tolaning urish uzunligi bir necha millimetrga teng [6]. Elliptik yadroli tolaning ko'ndalang kesimi 8.3a-rasmda ko'rsatilgan.

Muqobil dizaynda yadroga assimetrik kuchlanishni qo'llash orqali tolaga chiziqli ikki sinishi kiritilishi mumkin, bu yadroning sinishi ko'rsatkichi profilini o'zgartiradi. Bunga yadro atrofida hududni aylana bo'lmagan holga keltirish yoki yadro atrofida kuchli doplangan hududlarni kiritish orqali erishiladi. Ikki sinishi assimetrik tolalar kesimi bilan birgalikda yadro atrofida materialning termal kengayishining turli koeffitsiyentlari tufayli elasto-optik tarzda yuzaga keladi. Har xil kuchlanishli ikki sindiruvchi tola konstruksiyalari haqida xabar berilgan va 8.3-rasmda ularning ba'zilar ko'rsatilgan.

Elliptik qoplamali [7] yoki elliptik qoplamali [8] yuqori ikki sinuvchan tolalar haqida xabar berilgan; ikkinchisi bilan bir necha

millimetr tartibdagi erish uzunliklari olingan. Rasmda ko'rsatilgan kelebek tolasi. 3d yadro atrofidagi mintaqada yuqori dozalangan hududlarni qo'shganligi sababli ikkita sinishining eng yuqori qiymatini ko'rsatadi. Ushbu yondashuv bilan urish uzunligi atigi 0,5 mm ni tashkil qilishi xabar qilindi [10].

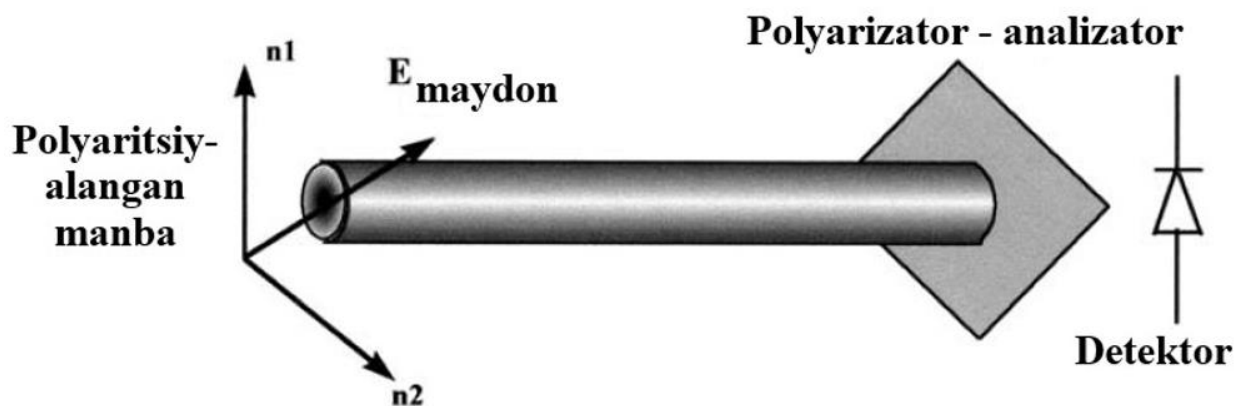


8.3-rasm. Yuqori ikki sinuvchan tolali konstruksiyalar.

Shunga o'xshash dizaynda PANDA tolasi (qutblanishning saqlanishi va so'rilishining pasayishi bilan) ikkita dumaloq doplangan hududga ega (8.3 - rasm). PANDA tolasi yadroning har ikki tomonida bir juft teshik ochilgan oddiy blankadan tayyorlanadi. Keyin har bir teshikka qotishma novda kiritiladi va kompozit preform keyin tekislanadi va qotishma novdalar tomonidan kuchlanish sektorlari hosil bo'lgan tolani ishlab chiqarish uchun odatiy tarzda tortiladi. Geometrik va kuchlanishli ikki sinishining ikkita ta'sirini birlashtirgan dizaynlar, masalan, elliptik yadroli kapalak tolasi kabilar haqida xabar berilgan.

8.3. Polyarimetrik sensorlar

Oddiy tolali polyarimetrik sensorlarda chiziqli polyarizatsiyalangan yorug'lik ikki singan tolaning asosiy o'qlariga 45° burchak ostida yo'naltiriladi, shuning uchun ikkala o'z modi ham bir xil darajada qo'zg'atiladi. Chiqish polyarizatsiya holati kirish polyarizatsiya holatiga 90° burchak ostida yo'naltirilgan polyarizator-analizator yordamida intensivlikka aylantiriladi (8.4 - rasmga qarang). Polyarizatsiya teskarisini aniqlash asosan optik uzatish intensivligini o'lchash bo'lganligi sababli, shunday tasvirlangan sxema manba chiqish signali yoki tolali sensorning kirish simlaridagi o'zgarishlar tufayli xatolarga moyil bo'ladi. Bu muammoni Wollaston prizmasi va ikkita detektor yordamida hal qilish mumkin. Wollaston prizmasidan foydalanilganda detektorlardagi signal tolaning ikki sinishi o'qlariga $+45^\circ$ va -45° burchak ostida yo'naltirilgan polyarizatsiya analizatorlari tomonidan yaratilgan signallarga ekvivalent bo'ladi. Qayta ishlash natijasida optik quvvatga bog'liq bo'lmagan signal olinadi. Biroq, bu afzallik Wollaston prizmasi va ikkita detektorni tolaning ikki sinishi o'qlariga nisbatan to'g'ri tekislashning qo'shimcha qiyinchiliklari bilan birga keladi.



8.4-rasm. Tolali polyarimetrning sxematik tasviri.

Polyarimetrni Jons matritsasi algebrasi yordamida quyidagi tarzda oson tahlil qilish mumkin. Kirish nuri chiziqli qutblangan deb faraz qilsak, polyarizatsiya azimutini to'lar o'qlariga 45° burchak ostida tekislash uchun yarim to'lqinli plastinka ishlatilsa, yuqori ikki

sinuvchan tolaning ikkala ortogonal qutblanish modi teng ravishda qo‘zg‘atilishi mumkin. Bunday holda, Jons matritsasining yozuvidan foydalanib, yorug‘likning elektr maydonini quyidagicha ifodalash mumkin

$$E_0 = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (8.22)$$

Tolaning ikki sinuvchan qismidan va tolaning chiqishidagi polarizatsiya analizatoridan o‘tgan yorug‘likning elektr maydonini quyidagicha hisoblash mumkin.

$$E = ABE_0, \quad (8.23)$$

bu yerda A va B mos ravishda polyarizatsiya analizatorining Jons matritsalarini va yuqori ikki sinuvchan tolalar. Tolani faza plitasi sifatida hisobga olsak, B deb yozilishi mumkin

$$B = \begin{bmatrix} e^{i(\phi_1 + \phi_2)/2} & 0 \\ 0 & e^{j(\phi_1 + \phi_2)/2} \end{bmatrix}, \quad (8.24)$$

bu yerda ϕ_1 – o‘rtacha faza kechikishi va ϕ_2 – tolaning tarqalishi natijasida yuzaga keladigan ortogonal qutblanishlar orasidagi induksiyaalangan faza kechikishi.

Tolalar o‘qlariga 45° burchak ostida joylashgan polyarizatsiya analizatorining alohida holati uchun A ifoda bilan aniqlanadi.

$$A = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}, \quad (8.25)$$

Polyarizatsiya analizatoridan keyin aniqlangan intensivlik bo‘ladi

$$I = E^2 = \frac{I_0}{2} [1 + \cos \phi_2], \quad (8.26)$$

bu yerda I_0 – ko‘rinadigan chiqish quvvati. Shuning uchun qutblanishning o‘zgarishi sinusoidal signal berib, analizatoridan keyin intensivlikning o‘zgarishi sifatida kuzatiladi.

Bunday holda, sensorning sezgirligi ma’lum o‘lchov o‘lchovi tomonidan qo‘shilgan polyarizatsiya aylanish darajasiga va aniqlanishi mumkin bo‘lgan minimal hal qilinadigan aylanishga bog‘liq. O‘lchangan miqdorning hosil bo‘lgan qutblanish holatiga ta’sirini quyidagicha hisoblash mumkin. Fazaga o‘tishning optik mexanizmi L uzunlikdagi tola tomonidan yo‘naltirilgan yorug‘lik to‘lqinining fazasi ifoda bilan aniqlanadi.

$$\phi = \beta L = n_{eff} k_0 L, \quad (8.27)$$

bu yerda β – modning tarqalish konstantasi, n_{eff} – uning samarali ko‘rsatkichi va k_0 – bo‘sh fazodagi yorug‘lik to‘lqinining soni, $2\pi = \lambda_0$ ga teng, bu yerda λ_0 – vakuumdagi to‘lqin uzunligi. Har qanday ikkita tolali boshqariladigan modlar uchun L uzunlikdan keyingi optik fazalar farqi quyidagicha ifodalanishi mumkin:

$$\Delta\phi = \Delta\beta L = \Delta n_{eff} k_0 L, \quad (8.28)$$

bu yerda Δn_{eff} – bu ikki mod o‘rtasidagi samarali ishlash farqi.

Agar tolaga tashqi kuchlanish e ta’sir etsa, differensial faza (8.25) tenglamaga muvofiq o‘zgaradi. Umumiy faza javobi tashqi maydondagi tolaning uzunligiga proporsionaldir. Shuning uchun sensorning birlik uzunligiga nisbatan sensorning reaksiyasini ko‘rib chiqish odatiy holdir. Demak,

$$\frac{1}{L} \frac{\partial(\Delta\phi)}{\partial \varepsilon} = k \frac{\partial(n_{eff})}{\partial n} \frac{\partial n}{\partial \varepsilon} + k \frac{\partial(n_{eff})}{\partial D} \frac{\partial D}{\partial \varepsilon} + k \Delta n_{eff} \frac{1}{L} \frac{\partial L}{\partial \varepsilon}, \quad (8.29)$$

bu yerda D – tola yadrosining diametri va n – yadro yoki qoplamaning indeksi.

(8.25) tenglamaning birinchi atamasi mexanik deformatsiyani deformatsiyalangan materialning optik sindirish ko‘rsatkichi bilan bog‘laydigan fotoelastik effektini tavsiflaydi. An’anaviy dumaloq

yadroli tolalar uchun tolaning sinishi indeksidagi natijada o'zgarish (8.26) tenglama bo'yicha hisoblanadi (yadro va qoplama ko'rsatkichlari deyarli teng bo'lsa):

$$\frac{\partial n}{\partial \varepsilon} = -\frac{n^3}{2} [p_{12} - v(p_{11} + p_{12})] . \quad (8.30)$$

bu yerda v – Puasson nisbati, yadroda ham, qoplamada ham bir xil deb hisoblanadi, p_{11} ; p_{12} – optik deformatsiya koeffitsiyentlari.

(8.30) tenglamadagi ikkinchi muddat – vD ga teng bo'lgan $\frac{\partial n}{\partial \varepsilon}$ da tolalar diametri bo'ylab uzunlamasına deformatsiya tufayli differensial samarali indeksning o'zgarishini aks ettiradi. Bu atama juda kichik hissaga ega ekanligi ko'rsatilgan va odatda e'tibordan chetda qolishi mumkin. Nihoyat, tenglamaning oxirgi qismi. (8.30) - deformatsiya tufayli uzunlikning fizik o'zgarishi natijasi.

8.3.1. Haroratni o'lchash

Shunga o'xshash ibora tolaning harorat (T) o'zgarishini boshdan kechirgan holat uchun olinishi mumkin:

$$\frac{1}{L} \frac{\partial(\Delta\phi)}{\partial T} = k \frac{\partial(\Delta n_{eff})}{\partial n} \frac{\partial n}{\partial T} + k \frac{\partial(\Delta n_{eff})}{\partial L} \frac{\partial L}{\partial T} + k \Delta n_{eff} \frac{1}{L} \frac{\partial L}{\partial T} , \quad (8.31)$$

Birinchi atama tolaning sof issiqlik ta'siridan sindirish ko'rsatkichining o'zgarishini, ikkinchisi esa fotoelastik effekt tufayli tola o'lchamlarining o'zgarishi tufayli sindirish ko'rsatkichining o'zgarishini aks ettiradi. Issiqlik kengayishi yoki qisqarishi tufayli tola uzunligining o'zgarishi αL ga teng bo'lgan $\frac{\partial L}{\partial T}$ uchinchi muddat sifatida ifodalanadi, bu yerda α – chizikli kengayishning issiqlik koeffitsiyenti. Fazaning harorat bilan o'zgarishida uzunlik o'zgarishi emas, balki indeksning o'zgarishi ustunlik qilishi ko'rsatilgan.

(8.25) va (8.27) tenglamalar yumaloq yadroli tolalarning deformatsiyasi va harorat sezgirligini nisbatan yaxshi aniqlik bilan hisoblash uchun ishlatilgan. Ikki sinuvchanligi yuqori bo'lgan tolalar

bo'lsa, tolali materialning rasmi va konsistensiyasining murakkabligi tufayli hisoblash murakkablashadi; Yuqori ikki sinuvchan tolalarning kuchlanish va haroratga sezgirligi odatda kalibrlash tajribalari yordamida eksperimental tarzda aniqlanadi.

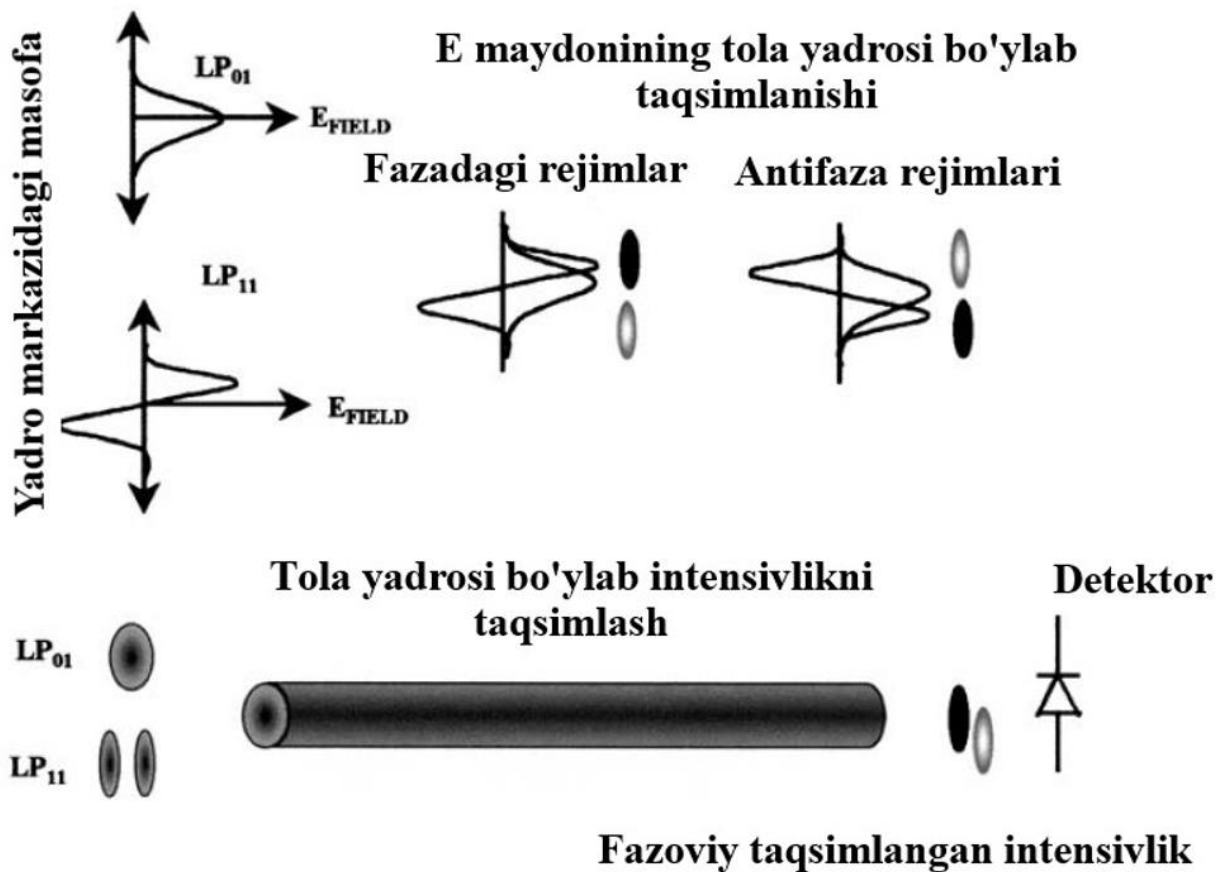
8.3.2. O'zgartirilgan sensorlar

Ikki modli yoki supermodeli sensorlar polarimetrlar bilan bir xil printsip asosida ishlaydi, faqat tola bo'ylab tarqalish yo'llari fazoviy ravishda ajratiladi. Plastinka to'lqin o'tkazgichda optik to'lqinning tarqalishini tavsiflovchi Maksvell tenglamalarining yechimlari ikki sinfga bo'linadi va tarqalish yo'nalishiga perpendikulyar yo'naltirilgan maydonga qarab TE va TM bilan ifodalanadi. Silindrsimon to'lqin yo'riqnomasida, masalan, optik tolada, shuningdek, eritmalarining ikkita klassi mavjud, ammo bu haqiqiy kesish to'lqinlari emas, balki EH yoki HE deb belgilangan duragaylar - asosiy mod HE_{11} modidir. Yuqori tartibli modlar odatda boshqa modlarning kombinatsiyasidir va shuning uchun tahlil qilish qiyinroq. Chiziqli polyarizatsiyalangan (LP) modning yaqinlashuvi [5] tolalardagi mod tarqalishini tahlil qilishni soddalashtirish uchun ishlab chiqilgan va keng qo'llaniladi. Ushbu yaqinlashuvda HE_{11} asosiy modi LP_{01} modi sifatida tasvirlangan. Uning LP_{11} modi sifatida tanilgan qo'shni modi HE_{01} va EH_{01} kombinatsiyasi bo'lib, ularning ikkalasi ham juft va toq yechimlarga ega. LP belgisi modal shovqin sezgichlarining ishlashini tahlil qilishni (va tavsifini) sezilarli darajada soddalashtiradi.

Ikki modli sensorlar yoki ikki modli sensorlar LP_{01} va LP_{11} modlarining tola bo'ylab turli tezliklarda harakatlanishidan foydalanadi. Bundan tashqari, elektr maydonining tola yadrosi bo'ylab taqsimlanishi har bir mod uchun farq qiladi. Asosiy modning elektr maydoni (LP_{01} modi) Gauss profilini tasvirlaydi, LP_{11} modi maydonining Rasmi esa qarama-qarshi belgilarga ega ikkita maksimalga ega. Yadro diametridan kuzatilgan yorug'lik intensivligi bu ikki maydonning superpozitsiyasi bilan tavsiflanadi. Shuning uchun, modlar orasidagi faza munosabatlari o'zgarganda, yaqin maydon naqshini bir juft tebranish loblari sifatida kuzatish mumkin. Tolaga ta'sir qiluvchi harorat yoki deformatsiya maydonlari to'g'ridan-

to'g'ri faza munosabatlarini modulyatsiya qiladi va shuning uchun chiqish naqshini o'zgartiradi. Bu o'lchanishi va ta'sirni keltirib chiqaradigan parametrga bevosita bog'liq bo'lishi mumkin. Fazoviy modlar uchun samarali mod indeksidagi farq polyarizatsiya modlariga qaraganda ancha yuqori; shuning uchun bu sensorlar bir-ikki darajaga sezgirroq bo'ladi.

Ushbu sensorlar kuchlanish sensori sifatida keng tadqiq qilingan va polyarimetrlar bilan bir vaqtda harorat va kuchlanish kabi ikki yoki undan ortiq parametrlarni o'lchashi mumkin bo'lgan sensorlarni yaratish uchun birlashtirilgan.



8.5-rasm. Ikki modli sensorning sxematik ko'rinishi.

Birlashtirilgan kuchlanish va haroratni o'lchash. O'lchov maqsadi dinamik bo'lgan hollarda, masalan, tebranish natijasida yuzaga keladigan kuchlanishning o'zgarishi, harorat va kuchlanish kabi bir vaqtning o'zida yuzaga keladigan maydonlarning ta'sirini ajratish nisbatan oson. Biroq, agar o'lchangan miqdorlarning

vaqtinchalik xarakteristikalarini o'xshash bo'lsa, masalan, kvazistatik deformatsiya o'lchovlari, unda bitta sensor tolasidan deformatsiya va harorat ma'lumotlarini tiklash uchun ba'zi vositalar talab qilinadi. Odatda, qabul qilingan yondashuv bir vaqtning o'zida ikki xil o'lchash yondashuvidan foydalangan holda sensorni so'roq qilishdir. Bu bir vaqtda tenglamalar tizimini yechish orqali harorat va deformatsiyani tiklash imkonini beradi. Amaldagi o'lchov sxemalarining ϕ_1 va ϕ_2 o'lchov parametrlari deformatsiya o'zgarishi (ε) va harorat o'zgarishi (T) funksiyalari bo'lib, matritsa formulasi yordamida quyidagi tarzda bog'lanadi:

$$\begin{bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{1T} & K_{1\varepsilon} \\ K_{2T} & K_{2\varepsilon} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T \\ \varepsilon \end{bmatrix}, \quad (8.32)$$

yoki

$$\Phi = K\Omega, \quad (8.33)$$

K , Ω dan F ga o'tish matritsasi o'rganilayotgan sensorning xarakteristik matritsasi hisoblanadi. Agar determinant $D = K_{1T}K_{2\varepsilon} - K_{2T}K_{1\varepsilon}$ nolga teng bo'lmasa, bu tenglamani teskari aylantirish va T va ε ni quyidagicha hisoblash mumkin.

$$\Omega = K^{-1} \Phi, \quad (8.34)$$

bu yerda, K^{-1} – teskari matritsa.

LP_{01} va LP_{11} modlarida polyarimetriya va ikki modli interferometriya [17] yoki polyarimetrik o'lchovlarning kombinatsiyasi bu turdagi o'lchovlar uchun juda mos ekanligi ko'rsatilgan, bu harorat va deformatsiya o'lchovlarini osongina tiklash imkonini beradi, chunki nisbiy sezgirlik ikkita o'lchash usuli tubdan farq qilishi mumkin. Biroq, bunday sensorlarni amalga oshirish qiyin, chunki ikki modli signalni ishga tushirish shartlari polyarimetriya ishga tushirish shartlaridan farq qiladi. Shunday qilib, bunday sensorlarning faqat laboratoriya namoyishlari haqida xabar berilgan. Muqobil

sensorni bitta tolaga ikkita polyarimetrni oʻrnatish orqali qurish mumkin, biri LP₀₁ modida, ikkinchisi esa LP₁₁ modida. Bu quyidagi yaxshi shartli matritsani beradi:

$$\begin{bmatrix} \delta\Delta\phi_{LP01} \\ \delta\Delta\phi_{LP11} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -4.87 \times 10^{-3} & -0.882 \\ 7.2 \times 10^{-3} & 0.846 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta\varepsilon(\text{rad}/\mu\text{em}) \\ \delta T(\text{rad}/^\circ\text{C m}) \end{bmatrix}. \quad (8.35)$$

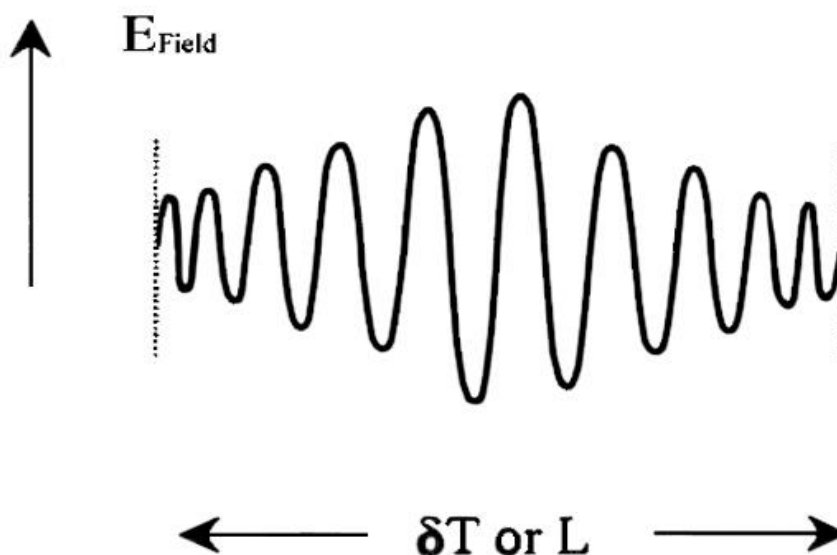
Ushbu turdagi sensorning afzalligi shundaki, u kvazi taqsimlangan oʻlchovlarni amalga oshirishga imkon beruvchi kogerent multiplekslash usullariga mos keladi.

8.3.3. *Kelishuvchanlik*

Optik manbaning kogerentlik uzunligi yoki kogerentlik vaqti uning sof sinus toʻlqini bilan ifodalanishi mumkinligini tavsiflaydi. Sensorli ilovalarda bu muhim oqibatlarga olib kelishi mumkin. Yuqori kogerent manbalar koʻpincha sensor tarmogʻining sensordan oʻchirilgan, lekin tizimga murojaat qilish uchun foydalaniladigan manba kogerentlik uzunligi doirasidagi qismlarining shovqini tufayli oʻzaro bogʻlanish muammolariga olib kelishi mumkin. Qisqa kogerentlik uzunligi manbalari koʻpincha ataylab koʻrish maydonini bir vaqtning oʻzida bitta sensor bilan cheklash uchun ishlatiladi, bu koʻplab sensorlarga bitta manba va qabul qilgich yordamida kirishga imkon beradi (bu haqda keyinroq). Optik sensor tarmogʻining ishlashi uchun manba kogerentligi uzunligining ahamiyati asosiy fizik prinsiplarni oʻrganish uchun biroz vaqt talab qiladi. Yorugʻlik nurini har biri oʻziga xos hayot muddatiga ega boʻlgan diskret fotonlar toʻplamidan iborat deb hisoblash mumkin. Foton – bu qisqa vaqt yoki tarqalish masofasi uchun elektr maydoni mavjud boʻlgan toʻlqinlar ketma-ketligi (8.6-rasmga qarang). Oddiy yorugʻlik manbasidan optik toʻlqin - ixtiyoriy faza munosabatlariga ega boʻlgan tasodifiy yaratilgan fotonlar toʻplami. Yorugʻlik manbasining fazasini bashorat qilish mumkin boʻlgan maksimal masofa (manba kogerentligi uzunligi) fotonning ishlash muddatiga bevosita bogʻliq va uni quyidagicha yozish mumkin.

$$L = c \partial T, \quad (8.36)$$

bu yerda c – yorug‘lik tezligi, ∂T – fotonning ishlash muddati. Bitta foton bilan bog‘langan to‘lqinlar ketma-ketligi sof sinus to‘lqin emas, balki uni turli chastotalar va amplitudalarning sinus to‘lqinlari qatori sifatida ko‘rish mumkin. Ushbu chastotalarning taqsimlanishi, odatda, 8.7 - rasmda ko‘rsatilganidek, Gauss yoki Lorentsianga yaqin taqsimot bilan tavsiflanadi, bu yerda yarim balandlikda (FWHM) taqsimlash liniyasi kengligi $\delta\nu = 1/\partial T$ bilan berilgan.



8.6-rasm. Foton to‘lqinli poezd.

Manbaning kogerentlik uzunligi, yorug‘lik fazasi o‘zgarib turadigan uzunlik, $c = \nu\lambda$ ifodasini farqlash orqali manbaning spektral tarqalishiga (uning chiziq kengligi) bog‘liq bo‘lishi mumkin.

$$\delta\nu = \frac{c}{\lambda^2} \delta\lambda, \quad (8.37)$$

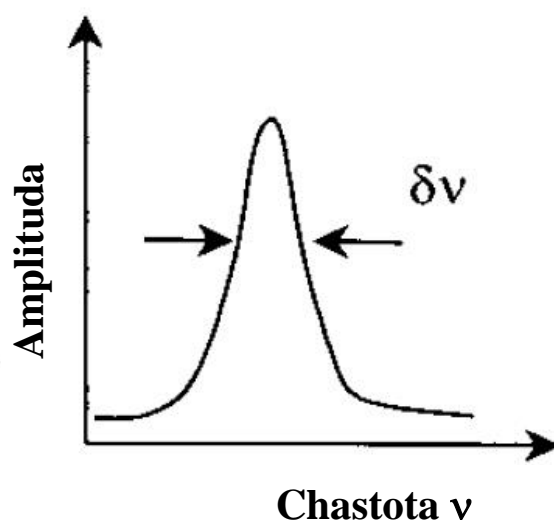
Biz buni bilgan holda

$$\begin{aligned} L &= c \partial T, \\ L &= \frac{c}{\delta\nu}, \end{aligned} \quad (8.38)$$

shunda

$$L = \frac{\lambda^2}{\delta\lambda}, \quad (8.39)$$

Shuning uchun, manba to‘lqin uzunligi 850 nm va chiziq kengligi 50 nm bo‘lgan YChD (LED) uchun kogerentlik uzunligi taxminan 15 μm bo‘ladi. Fazani bashorat qilish yoki o‘lchash mumkin bo‘lgan bu juda qisqa masofa bir nechta interferometrlarni multiplekslash uchun samarali ishlatilishi mumkin.



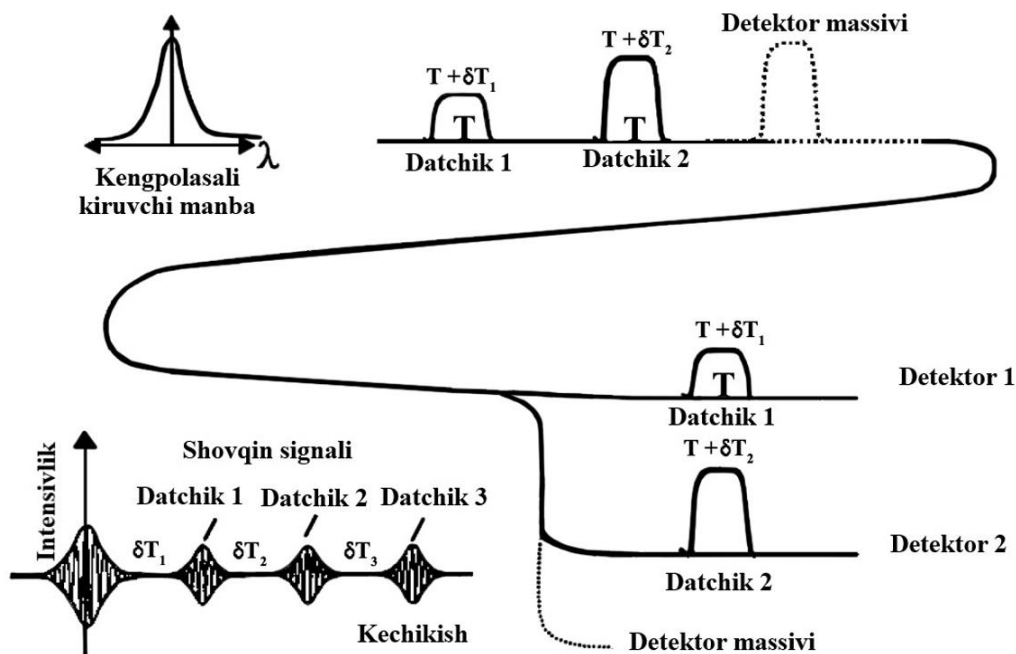
8.7-rasm. Lazer nurlanishining spektral tarqalishi.

8.3.4. Kogerent multipleksli sensorlar

Optik sensorlar tarmog‘ining vaqtga bo‘linish multipleksatsiyasi (TDM) ko‘p sonli sensor elementlari o‘rtasida transmitter va detektor resurslarini almashishning aniq vositasidir. Ushbu yondashuv aniq afzalliklarga ega, chunki u kremniyga asoslangan ishlov berish usullarining kuchi va moslashuvchanligini qo‘llaydi va mustahkamdir. Biroq, u tabiatan bog‘liq elektronikani qayta ishlash tezligi bilan cheklangan va yuqori tarmoqli kengligi o‘lchovlari uchun bu odatda xarajatlarni sezilarli darajada kamaytirishga olib keladi. Signallarni elektr signaliga o‘tkazish faqat o‘lchash va qayta

ishlash bosqichida sodir bo‘ladigan tarzda optik tarzda oldindan ishlov berish mumkin bo‘lsa, bu xarajatlarning aksariyatini oldini olish mumkin. Kogerentlikka asoslangan multiplekslash – bu maqsadga erishishning mumkin bo‘lgan usullaridan biri.

Fazaga asoslangan sensorlar va polarimetrlar interferometrning ikkita qo‘lidan o‘tadigan yorug‘lik o‘rtasida sodir bo‘ladigan nisbiy faza kechikishini o‘lchaydi. Ushbu ma’lumot polarizator tekisligida yoki detektor yuzasida ikkala qo‘lning chiqish signalini urish natijasida olingan shovqin signalini qayta ishlash orqali tiklanadi. Shuning uchun, bu ma’lumotni faqat ikkita signal kogerent bo‘lsa, ya’ni uzatish yo‘llari orasidagi nisbiy vaqt kechikishi har bir alohida manbaning muvofiqlik vaqtidan oshmasa, tiklanishi mumkin. Kogerent multiplekslangan tizimlar ushbu cheklovdan har bir sensorga noyob, identifikatsiya qilinadigan imzoni berish uchun foydalanadi.



8.8-rasm. Interferometrik sensorlarni kogerent multiplekslash.

Siz interferometrlar qatorini yaratishingiz mumkin. nisbiy yo‘l muvozanati (o‘lchov va mos yozuvlar qo‘llari orasidagi) har bir interferometr o‘rtasida so‘roq manbasining kogerentlik uzunligidan

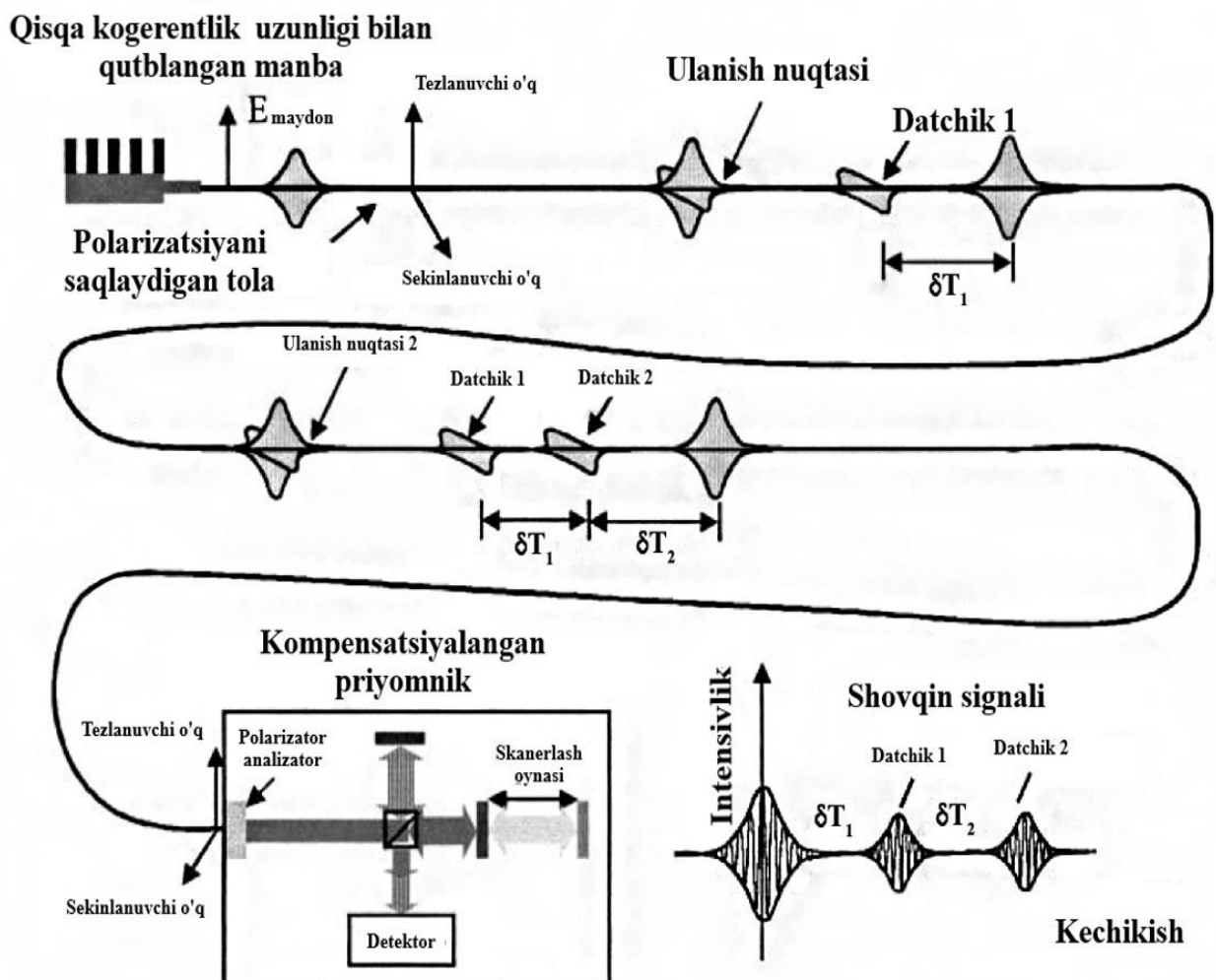
(odatda YChD (LED) uchun 20 mm) farq qilsa, har bir interferometrni noyob tarzda aniqlash va kompensatsion interferometr yordamida uning signalini qabul qiluvchida qayta tiklash mumkin. Ushbu konsepsiya 8.8-rasmda ko'rsatilgan.

Bunday massivlarni qurishning asosiy kamchiliklari katta miqdordagi energiyani yo'qotishdir. Bundan tashqari, har bir sensorni noyob tarzda aniqlash uchun bir qator muvozanatsiz va mos keladigan interferometrlarni qurish kerak. Buning oqibati shundaki, optik tolali tarmoqning o'ziga xos soddaligi yo'qoladi. O'lchov va kompensatsiya tarmoqlari solishtirma elektr sxemasidan ko'ra ko'proq bo'lmasa ham, xuddi shunday murakkabdir. Biroq, yuqorida tavsiflangan yondoshuv variantlari yorug'lik polyarizatsiyasini saqlaydigan tolaning ortogonal o'qlaridan o'tganda yuzaga keladigan differensial kechikishdan foydalanadi, optik o'lchash sxemalari bilan bog'liq ko'plab afzalliklarni tiklashi mumkin.

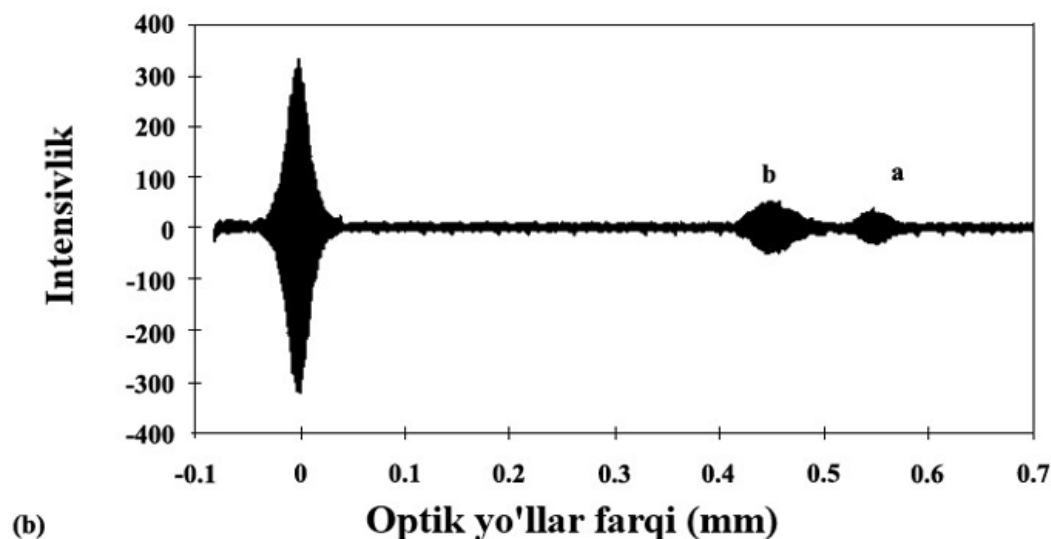
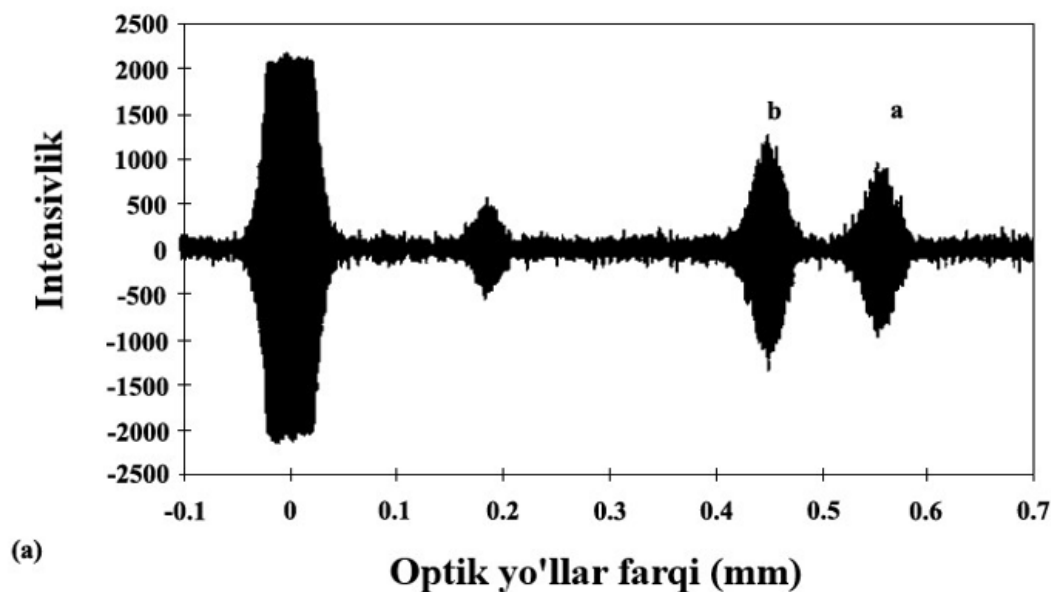
8.9 - rasmda bitta tola uzunligini bir nechta o'lchov bo'limlariga qanday ajratish mumkinligini ko'rsatadi va har bir bo'limga tegishli o'lchov ma'lumotlari qabul qiluvchida tiklanadi. O'lchov printsipli kvazi taqsimlangan polarimetriya deb nomlanadi. Past kogerentlik manbasidan qutblangan yorug'lik polyarizatsiyani saqlaydigan tolaning asosiy o'qlaridan biriga yo'naltiriladi. Tolaning oldindan tanlangan joylarida bu yorug'likning kichik bir qismi ortogonal o'qlar bo'ylab harakatlanadi. Bu sensor bo'limini tashkil qiladi va bu hududdagi termal yoki mexanik ta'sirlar polyarizatsiya aylanishi sifatida kuzatiladigan differensial kechikishni modulyatsiya qiladi. Yorug'lik tola bo'ylab tarqalayotganda, sekin o'qdagi yorug'lik tez o'qdagi yorug'lik bilan solishtirganda kechiktiriladi. Bir nuqtada, bu kechikish manba kogerentligi uzunligidan oshib ketadi va ikki o'q va polyarizatsiya ma'lumotlari o'rtasidagi nisbiy fazalarni endi tiklab bo'lmaydi. Ushbu nuqtada siz qo'shimcha o'zaro aloqa nuqtasini kiritishingiz va sensor uchun boshqa joyni belgilashingiz mumkin. Jarayon tolalar uzunligi tugaguncha takrorlanishi mumkin. Tolaning chiqishida skanerlash interferometri tola tomonidan kiritilgan kechikishlarni qoplash va shuning uchun shovqin signallarini qayta tiklash uchun ishlatiladi. Shunday qilib, har bir o'lchov bo'limiga ketma-ket

kirish va tolaning uzunligi bo‘ylab pozitsiyasiga qarab maqsadli o‘lchov parametrini tiklash mumkin.

Ushbu turdagi o‘lchov tizimlari va uning hosilalari birinchi marta, xususan, Bertin Co. (Fransiya) va bir qator ilovalarda, jumladan, kompozit materiallarda kuchlanish monitoringi va atom elektr stansiyasida statorlarning kuchlanish va haroratni nazorat qilishda qo‘llanilgan. Oxirgi misolda, hisoblagich 128 tagacha kanalga murojaat qildi va kanallar bir-biridan uzoqda joylashgan bo‘lsa-da, o‘lchash prinsiplari asosan bir xil. Har bir prob $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan yuqori harorat aniqligiga ega edi va 200°C gacha bo‘lgan haroratlarda ishlashi mumkin edi.



8.9-rasm. Kvazi-tarqatilgan polarimetrik sensor.

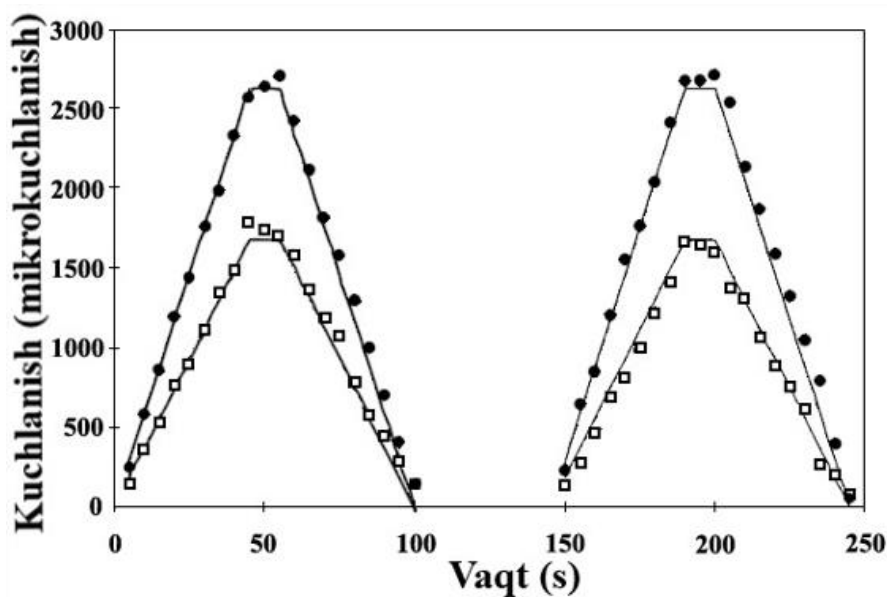


8.10-rasm. LP_{10} va LP_{11} modi uchun Maykelson interferometr signali. *a* va *b* mos ravishda birinchi va ikkinchi ulanish nuqtalari tufayli interferogrammalar.

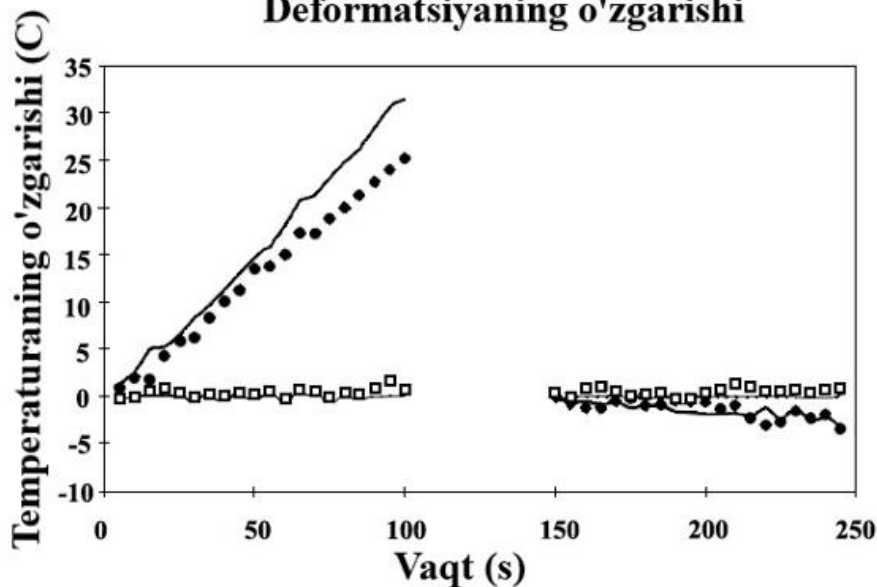
Kvazi-tarqatilgan polarimetrik kuchlanish va harorat sensorlari. LP_{10} va LP_{11} ning harorat va deformatsiyaga sezgirligidagi farqlardan foydalangan holda kvazi taqsimlangan asosda harorat va deformatsiyani bir vaqtda o'lchash imkonini beradigan yuqorida ko'rsatilgan prinsipning kengaytmasi ko'rsatilgan. dalalar. Ushbu tizimni amalga oshirish har bir modni ikkita alohida tolaga jismonan ajratadigan yangi mod ajratgichni ishlab chiqishni talab qildi, ular

sezgi tolasi uzunligi bo‘ylab to‘plangan yo‘l muvozanatini qoplash uchun Maykelson interferometrlari juftiga yo‘naltirilishi mumkin edi.

8.10 - rasmda ikkita induksiyali bog‘lovchi bilan amalga oshirishni ko‘rsatadi: birinchisi tolaning kirish joyidan 50 sm masofada joylashgan; ikkinchisi 120 sm bo‘lib, ikkita zondlash uzunligini hosil qiladi (tolaning oxirigacha *a* nuqtasi va tolaning oxirigacha *b* nuqtasi). Har bir moddagi bantlar ulanish nuqtalarining holatiga mos keladi.



Deformatsiyaning o'zgarishi



Temperaturaning o'zgarishi

8.11- rasm. Ikki sohada kuchlanish va haroratni bir vaqtda o‘lchash

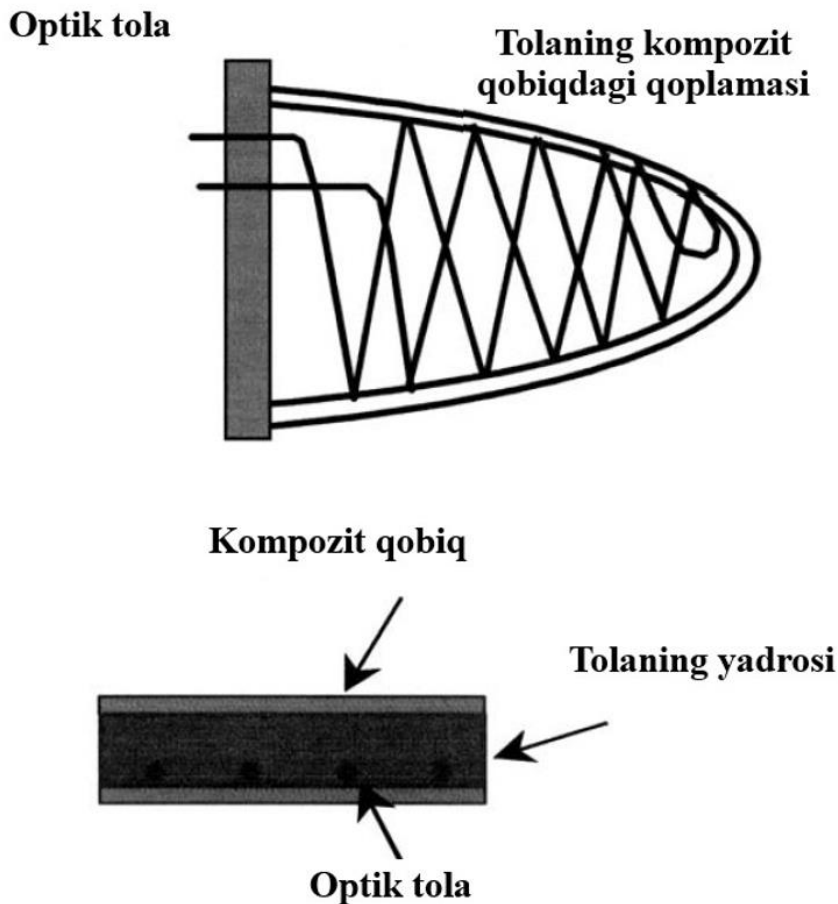
Deformatsiya va harorat aylanishining birinchi qismi uchun deformatsiya ham, harorat ham yuqori qiymatlarga yetadi. Deformatsiya xatosi asta-sekin oshib boradi, deformatsiya ham, harorat ham yuqori bo'lganda 50 s dan keyin maksimal qiymat 200 mc ga yetadi. Ushbu nuqtadan keyin deformatsiya pasaya boshlaydi va xato deyarli doimiy qiymatni oladi. Harorat ma'lumotlari uchun xatolik 50 sekunddan keyin tez o'sib boradi va butun tsikl davomida o'sishda davom etadi va 70°C tolali haroratda maksimal 6°C qiymatiga yetadi. 8.6 - rasmning ikkinchi qismida, bu yerda bir xil deformatsiya davri qo'llaniladi, lekin ikkala sensorli hududdagi harorat pastligicha qolmoqda (taxminan 38°C), deformatsiya va harorat xatolar kichik (2°C va 50 $\mu\epsilon$).

Yuqoridagi o'lchovning eksperimental ishlashi ayniqsa ta'sirchan emas, lekin prinsipi ko'rsatilgan. Birinchidan, o'lchov jarayonidagi xatolar tizimli eksperimental xatolik tufayli yuzaga keladi (mos yozuvlar termojufti haroratni faqat bir nuqtada o'lchaydi, optik tola esa butun uzunligi bo'ylab haroratni o'lchashni birlashtiradi). Ikkinchidan, polyarizatsiya aylanishini o'lchashda fazani qayta tiklash jarayoni $\pi/10$ aniqlik bilan amalga oshiriladi. Bu nafaqat o'lchovga, balki matritsani kalibrlash jarayoniga ham ta'sir qiladi va har bir matritsa elementida 2% gacha bo'lgan xatolarga olib keladi. Ularning birgalikdagi ta'siri tahlil qilindi va deformatsiya va haroratni qayta tiklashda xatoliklarga olib keldi, mos ravishda taxminan 220 $\mu\epsilon$ va 2,5°C ni tashkil etdi, bu odatda rasmdagi qiymatlarga mos keladi.

8.3.5. Kogerent multipleks zarbani aniqlash

Oldingi variantning o'zgarishi ta'sir joyini aniqlash uchun polyarizatsiyani saqlaydigan tolaning ortogonal modlari orasidagi differensial kechikishdan foydalanadi. Ma'lumki, past energiya ta'siri kompozit komponentning yuzasida ko'rinmaydigan zararga olib keladi, ammo strukturaning yaxlitligini sezilarli darajada zaiflashtirishi mumkin. Ushbu turdagi zararni aniqlash, ayniqsa, aerokosmik sanoatda kompozit konstruksiyalarning oxirgi foydalanuvchilari uchun katta qiziqish uyg'otadi. OSMOSda ushbu masalaga e'tibor konsortsiumning maxsus qo'llaniladigan avtomobili orqali

qaratildi, bu esa sezgir radar oʻrnatishni himoya qiluvchi samolyot radomining qismini boshqaradi (8.12-rasmga qarang). Ushbu komponentlar mumkin boʻlgan taʼsirlardan yetarli darajada mexanik himoyani taʼminlash va radar signaliga yuzaga keladigan shovqinni minimallashtirish uchun iloji boricha qalin boʻlishi uchun raqobatbardosh talablarga ega.



8.12-rasm. *Qoplamaning konstruksiyasiga integrallangan optik tolali sensor.*

Bosimga sezgir (yon teshik) polyarizatsiyani saqlaydigan tola ishlatilgan. Bu taʼsir hodisalarining paydo boʻlishini aniqlash uchun kogerentlikka asoslangan polyarimetriyada ishlatilgan. Yorugʻlik tolaga shunday tushadiki, elektr maydoni tez oʻqqa toʻgʻri keladi. Tolaga zarar yetkazadigan taʼsir hodisalari energiyaning bir qismini ortogonal oʻqqa oʻtkazilishiga olib keladi, u yerda tolaning oxirigacha pasaytirilgan tezlikda tarqaladi. Ikki tarqaladigan signal

oʻrtasida sodir boʻladigan faza kechikishi taʻsir joyini aniqlash uchun ishlatilishi mumkin. Taʻsir va tolaning distal uchi oʻrtasidagi kechikish hisoblanadi.

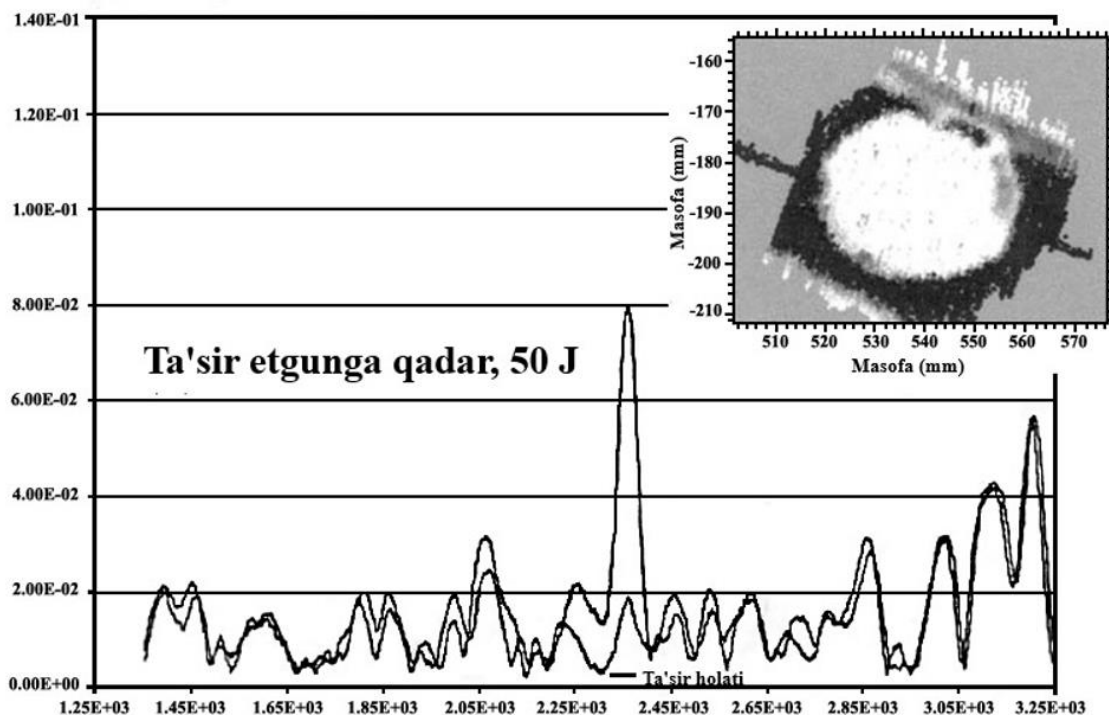
$$\Delta\Phi = \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)\Delta nL, \quad (8.40)$$

bu yerda Δn — ikki oʻq oʻrtasidagi sinishi koʻrsatkichlari farqi, L – oʻzaro bogʻlanish hodisasi va tolaning distal uchi orasidagi masofa, λ — ish toʻlqin uzunligi. Taʻsir hodisasining kattaligini sodir boʻlgan oʻzaro bogʻlanish miqdoridan aniqlash mumkin va taʻsir joyi Maykelson interferometri yordamida fazani kechiktirish oʻlchovlaridan aniqlanadi.

Qoplama 8.12 - rasmda koʻrsatilganidek, qalinligi 10 mm qalinlikdagi yuqori zichlikdagi koʻpikka yopishtirilgan 1 mm qalinlikdagi D-shisha qatron (smola) laminatdan yasalgan. Yuzaki taʻsir hodisalari toliga oʻtkaziladi va shu bilan aniqlanadi.

Sensorning ishlashi taʻsir hodisasiga nisbatan tolaning yoʻnalishiga bogʻliq boʻlsa-da, tola taxminan 5J zarbalarga sezgir ekanligi aniqlandi. Taʻsirning fazoviy joylashuvini 1 aniqlik bilan osongina aniqlash mumkin (sm).

Shunga oʻxshash tadqiqotlar boshqa tolalar turlaridan foydalanган holda kompozit materiallarda zarba shikastlanishini kuzatish uchun xabar qilingan. 8.13 - rasmda kompozit laminatning tuzilishiga 50J kuch bilan taʻsir qilish natijasida hosil boʻlgan signal koʻrsatilgan. Oʻlchovning sezgirligi tolalar joylashgan interfeysga bogʻliq. Sensorni ikkita qatlam orasiga joylashtirish 0 strukturaning yaxlitligiga minimal taʻsir qiladi, lekin sezgirlikni cheklaydi, chunki kompozit tuzilishdan keyin interfeys samarali ravishda yoʻqoladi.



8.13-rasm. Kelebek tolasi zarbasini aniqlash.

8.4. Optik tolani o'lchashi

8.4.1. Ishlash prinsipi

Hozirgacha bizning polyarimetrik sensorlar haqidagi munozarimiz butunlay tizimli monitoring dasturlarida (masalan, harorat va poezd o'lchovlari) tez-tez ishlatiladigan sensorlarning fizik parametrlariga qaratilgan. Bundan tashqari, polyarimetriya elektr ta'minoti sanoatida o'lchash va himoya qilish uchun uzatish va tarqatish tarmoqlaridagi kuchlanish va oqim o'zgarishlarini kuzatish uchun keng qo'llanilgan. Bu, ehtimol, tolali polyarimetrik sensorlarning texnik jihatdan eng ilg'or sohasi bo'lib, ko'plab sanoat tadqiqot laboratoriyalari prototip tizimlarni ishlab chiqaradi, ular hozirda tijoratlashtirishga intilmoqda.

Optik oqim konvertori (OOK) o'tkazgich yaqinidagi magnit oqim zichligini o'lchash orqali elektr o'tkazgichdagi oqimni aniqlaydi. Agar optik sensor o'tkazgichni to'liq qoplasa, u holda oqimning haqiqiy qiymatini olish mumkin; aks holda, o'qish o'lchov

nuqtasida magnit oqim zichligini aks ettiradi va shunga mos ravishda o'lchanishi kerak.

Magnit oqimining zichligi yorug'lik o'tkazgich yaqinidagi yo'naltiruvchi muhit (optik tola yoki sezgir kristall) orqali tarqalganda sodir bo'ladigan qutblanish aylanishi bilan aniqlanadi. Polyarizatsiya holatining bu o'zgarishi magnit oqimining zichligiga, o'zaro ta'sir uzunligiga va qurilma ishlab chiqarilgan materialning Verde doimiysiga (V , rad T-1 m-1) bog'liq. Sensor orqali yorug'lik o'tishi bilan sodir bo'ladigan burchak aylanish γ (graduslarda o'lchanadi) quyidagicha tavsiflanadi.

$$\theta = VBl , \quad (8.41)$$

bu yerda B – magnit maydon kuchi (Tesla), qo'llaniladigan oqim va o'tkazgich geometriyasining funksiyasi va l – magnit maydonga ta'sir qiladigan zond uzunligi. Magnit maydondan o'tadigan yorug'likning aylanish darajasini o'lchash uchun ko'plab usullardan foydalanish mumkin. Asosiy tamoyil, masalan, [27, 28] da tasvirlangan. Polyarizatsiyalanmagan yorug'lik birinchi navbatda polyarizatsiya plyonkasi yoki kristall yordamida qutblanadi. Polyarizatsiyalangan yorug'lik magnit maydon ta'sirida aylanadi; bu aylanish sensorning chiqishida tahlil qiluvchi polarizator yordamida intensivlikning o'zgarishiga aylantiriladi (8.14-rasmga qarang). O'tkazilgan intensivlik ifoda bilan tavsiflanadi.

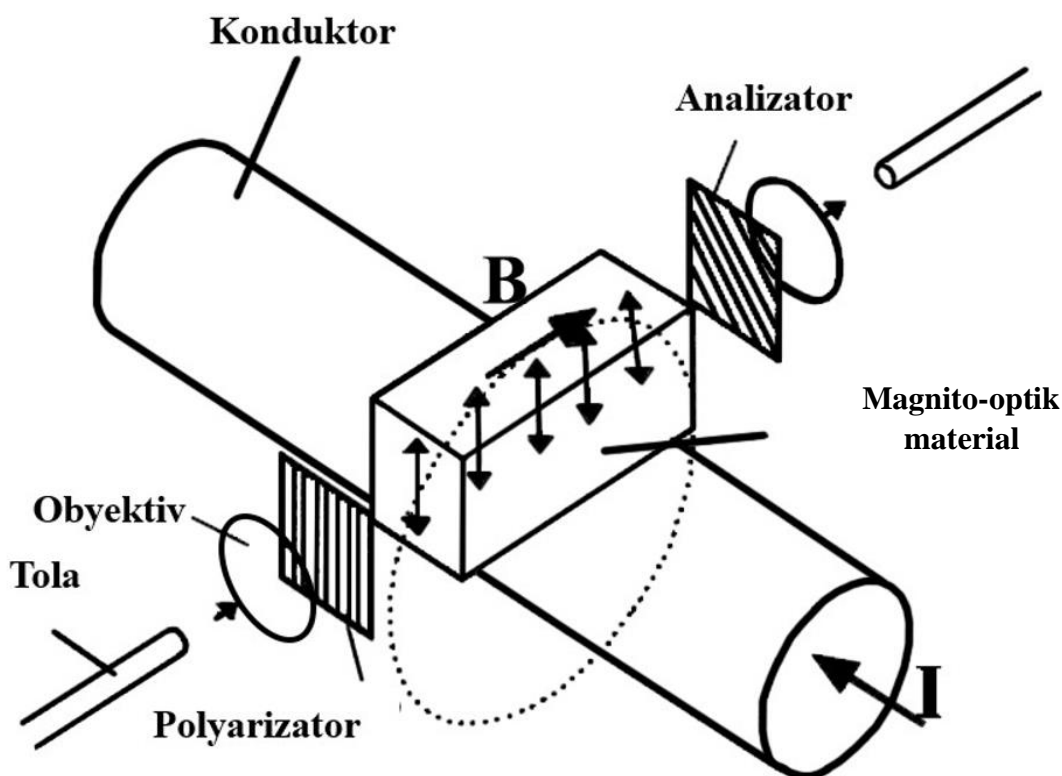
$$I=I_0(1+\sin(2\theta))/2 , \quad (8.42)$$

bu yerda I_0 – sensorga berilgan yorug'likning kirish intensivligi. Yuqoridagi o'lchov statsionar yorug'lik uzatilishining mutlaq qiymatiga (I_0) sezgir, ammo bu sezgirlikni modulyatsiyalangan signalni DC komponentiga normallashtirish orqali yo'q qilish mumkin.

Asosiy kontsepsiya oddiy bo'lsa-da, ushbu qurilmalarning amaliy amalga oshirilishi ahamiyatsiz emas; samarali oqim sensori yaratish uchun ko'plab turli yondashuvlar o'rganildi. Keyingi bo'limda biz ishlab chiqilgan yechimlarning xilma-xilligini ko'rsatish

uchun ba'zi asosiy texnikalarning qisqacha mazmunini taqdim etamiz.

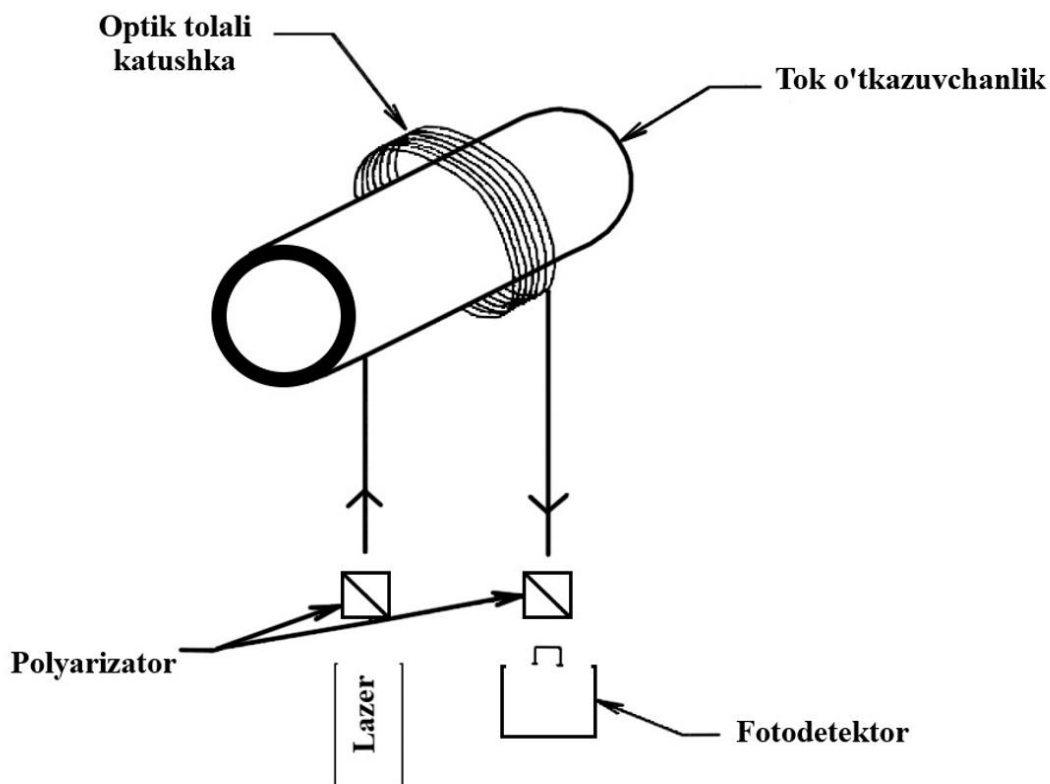
Ideal holda, OOK oqim bilan bog'liq magnit maydonni aniqlash uchun vosita sifatida optik tolaning o'zidan foydalanishi kerak. Agar bu juda murakkab ishlov berishni talab qilmasdan amalga oshirilishi mumkin bo'lsa, unda u eng oddiy va oxir-oqibat eng iqtisodiy yechimni beradi. Bunga qo'shimcha ravishda, 8.15 - rasmda ko'rsatilgan sensorning ichki dizayni magnit yo'lni butunlay yopadi va shu bilan boshqa potentsial buzuvchi magnit maydon manbalaridan izolyatsiyani ta'minlaydi. Kvars tolasining Verde konstantasi (taxminan $8 \cdot 10^{-6}$ Rad / A) nuqta sensorlarida tez-tez ishlatiladigan kristalli materiallardan sezilarli darajada past. Biroq, bu ko'p burilishlar yordamida qoplanishi mumkin.



8.14-rasm. Nuqtali oqim sensori sxemasi.

Bunday qurilmalarni amalga oshirishga bo'lgan dastlabki urinishlar tolali g'altakning ichida hosil bo'lgan chiziqli ikki sinishi

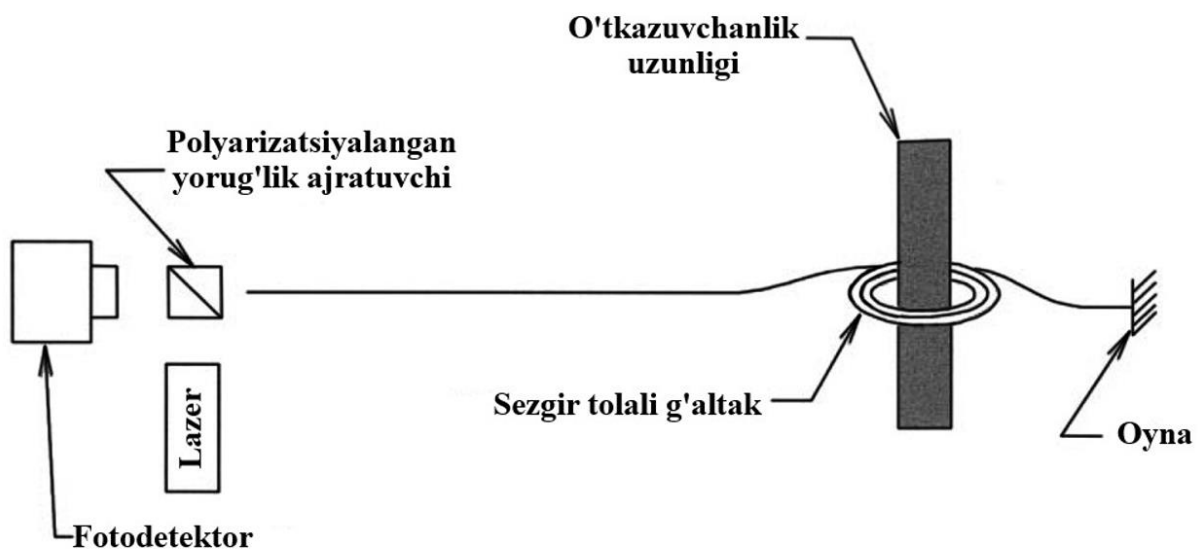
tufayli beqarorlik tufayli to'sqinlik qildi va asosiy e'tibor ommaviy materiallar qurilmalariga qaratildi. Biroq, so'nggi tadqiqotlar yangi tolalar tarkibi va chizish texnikasi tufayli optik tolalardagi chiziqli ikki sindirishni deyarli yo'q qildi. Juda past chiziqli ikki sinishi bo'lgan tola 1986-yilda namoyish etilgan. Tolalar yadrosida paydo bo'ladigan anizotropik kuchlanish profili tufayli tola sensor atrofida o'ralganida ikkilamchi nur sinishi kuchayadi, ammo yuqori haroratli tavlaniş samarali ekanligini isbotladi. Bu ta'sirni kamaytirishning juda samarali vositasi. Yuvish jarayoni tolaning himoya qoplamini yo'q qiladi; ammo, bu bosqichda hech qanday qoldiq chiziqli ikki sindirish qayta kiritilmasa, tavlaniş jarayonidan keyin yangi qoplama qo'llanilishi mumkin. Toshiba va ABB kabi bir qancha yirik ishlab chiqaruvchilar ushbu sohada tolaga o'ralgan OKT qurilmalarini ishlab chiqargan va sinovdan o'tkazgan.



8.15-rasm. OKT bilan g'altakli tola.

Ushbu turdagi sensorlarning aks ettiruvchi qurilmalari (8.16-rasmga qarang) tolali lasanni o'tkazgich atrofida o'rashga imkon beradi, bu esa sozlash uchun o'tkazgichni qismlarga ajratish

zaruratini yo‘q qiladi. Bundan tashqari, Faraday effektining o‘zaro bo‘lmagan tabiati tolaning qabul qilingan uzunligini ikki baravar oshirishga xizmat qiladi va tebranish natijasida kelib chiqadigan ikki sinishi ta’sirini bostirish uchun ishlatilishi mumkin, chunki soat yo‘nalishi bo‘yicha nurga ta’sir soat yo‘nalishi bo‘yicha fazadan tashqarida bo‘ladi. Nur soat miliga teskari yo‘nalishda tarqaladigan nurga ta’siri.



8.16-rasm. OTK dagi qaytaruvchi tipli g‘altakli tola

Toshiba JEC 1201 1PS o‘lchov spetsifikatsiyasiga javob berishi ko‘rsatilgan ushbu dizayn asosida silika tolasi OOK ni ishlab chiqdi. Mualliflar tebranish natijasida yuzaga kelgan xatoni hisobga olish uchun amalga oshirilgan har qanday xususiyatlar haqida batafsil ma’lumot bermagan bo‘lsalar ham, 8G elektron to‘xtatuvchining tebranishidan mexanik zarba ta’siri elektron shovqinning RMS qiymatidan (3,8 A) kamroq sifatida qayd etilgan.

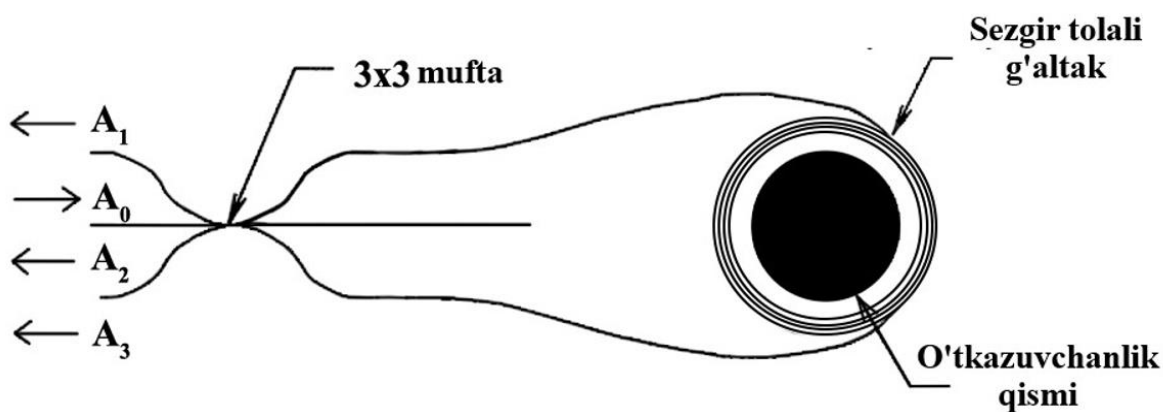
Optik tolali giroskoplarni o‘rganish asosida Sanyak interferometri asosida tokni o‘lchash uchun asboblari yaratildi. Sensor pikap bobini orqali soat yo‘nalishi bo‘yicha va soat miliga teskari yo‘nalishda tarqaladigan yorug‘lik o‘rtasida sodir bo‘ladigan o‘zaro bo‘lmagan faza o‘zgarishlarini o‘lchaydi. Giroskopda fazalar siljishi

yerning aylanish o'lchovini beradi. Ampermetrda magnit maydon ta'sirida faza almashinuvi sodir bo'ladi.

San'yak qurilmasi 8.17 - rasmda ko'rsatilgan bitta kirish yorug'lik manbasidan 120 ga bo'lingan uchta chiqish fazasini ishlab chiqaradigan [3x3] optik tolali bog'lovchidan foydalanadi. Bu tartibga solish istalgan vaqtda interferometrning optimal egilishiga imkon beradi va keng dinamik diapazonda o'ta sezgir o'lchovlarni amalga oshirishga imkon beradi.

LB 800 past ikki sinuvchan York tolasi va sotuvda sotiladigan giroskop yordamida qurilgan San'yak CT interferometri 1994-yilda ABB tomonidan dala sinovida baholangan. Ushbu testlar shuni ko'rsatadiki, sensorning maksimal chiqishi xatosi (an'anaviy o'lchov sinfi CT bilan solishtirganda) 0,2% dan kam.

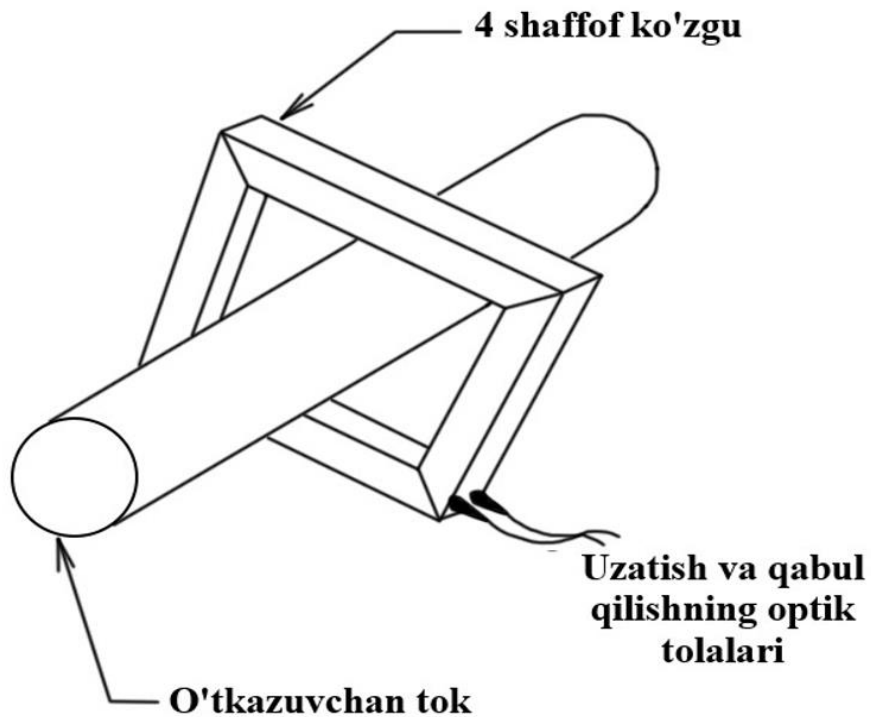
To'liq tolali oqim sensoriga muqobil ravishda ko'pchilik doplangan chaqmoqtosh materialdan qurilgan hajmli qurilmalarga e'tibor qaratdi. An'anaviy KT temir yadrosiga o'xshash oddiy shisha halqa tuzilishini hosil qilish uchun bir nechta qismlar yig'ildi (8.18 - rasimga qarang).



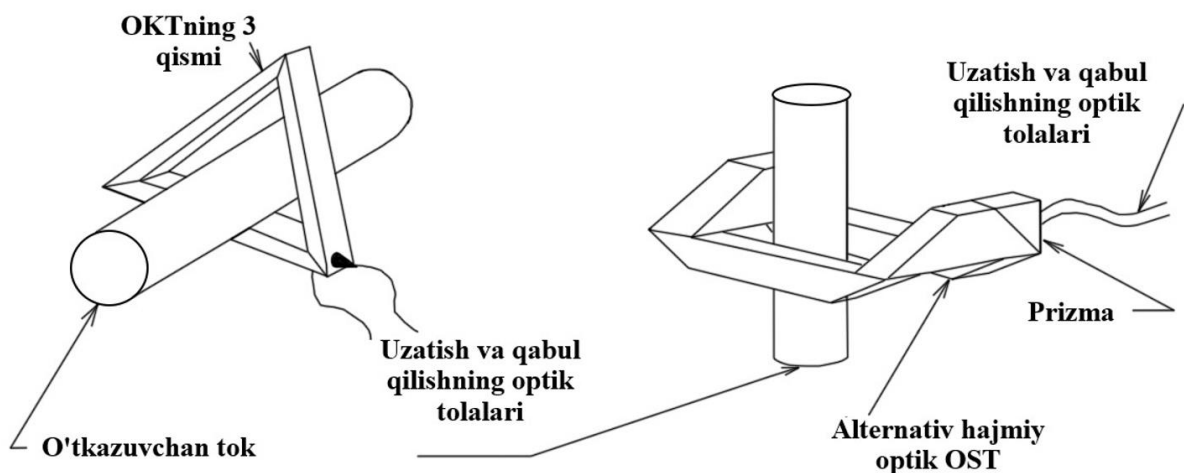
8.17-rasm. San'yak interferometriga asoslangan OKT.

Optika bilan OKTning ishlash printsipti g'altakli tolasi bilan OOKga o'xshaydi. Yorug'lik halqa bo'ylab harakatlanib, doimo strukturaning "burchaklaridan" sakrab tushadi. Ushbu qurilmalarni ishlab chiqarish nisbatan sodda, ammo yorug'likning har bir aksi polyarizatsiyada yengil siljishni boshdan kechiradi, bu esa o'lchash

jarayonini buzishi mumkin. Ushbu ta'sirni minimallashtirishga urinishlar bu ta'sirlarni neytrallashtiradigan yoki ularni butunlay yo'q qiladigan tuzilmalarni yaratishga olib keldi, bu esa barcha ko'zgularning chiziqli faza almashinuvini kiritmaydigan burchaklarda paydo bo'lishiga olib keldi (8.19 - rasmga qarang).



8.18-rasm. Oddiy hajmli-optik OKT.



8.19-rasm. Qayta ko'rib chiqilgan hajmli-optik tuzilmalar.

Yaralangan toladan farqli o'laroq, ommaviy optik sensorlar nisbatan og'ir va o'tkazgichni qo'llab-quvvatlash, himoya qilish va montajni o'rnatish uchun mustahkam korpusni talab qiladi. Biroq, 100 kg ga etishi mumkin bo'lgan o'lik vazniga qaramasdan, ular 7000 kg gacha bo'lgan elektr hamkasbiga qaraganda sezilarli darajada yengilroq. Ayni paytda bir nechta kompaniyalar shu tarzda ishlab chiqarilgan asboblarning darajasidagi optik oqim transformatorlarini sotadilar, ular asosan yuqori kuchlanishli ilovalar uchun (>100 kV) narxlarda raqobatbardoshdir. Ushbu qurilmalar uchun bozor hajmi haqida aniq ma'lumotlar mavjud emas, ammo 1996-yil hisobotida ko'rsatilgandek, har yili dunyo bo'ylab 50 dan 100 gacha bu turdagi sensorlar sotiladi.

8.4.2. Kristallar asosidagi optik tok konvertorlari

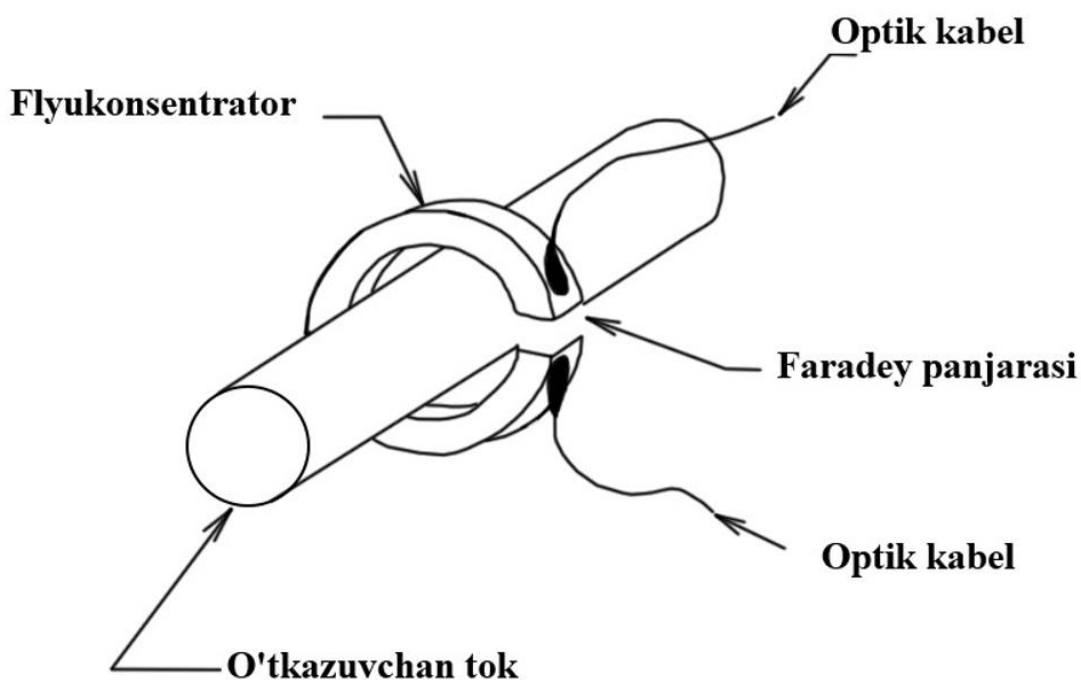
Optik oqimni o'lchash uchun asboblarning asosiy klassi sezgir muhit sifatida magnit-optik kristallardan foydalanishga asoslangan. Bu sinfning birinchisi an'anaviy va optik texnologiyalar aralashmasi bo'lib, gibridd yoki oqim konsentratore sifatida tanilgan, havo bo'shlig'i bo'lgan temir yoki ferrit yadrodan iborat bo'lib, unda aylanadigan Faraday hujayrasi joylashtirilgan. Shunday qilib, qurilma tomonidan qabul qilinadigan magnit maydon kuchayadi, bu o'zaro bog'lanishga sezilarli qarshilik darajasini kiritadi va magnit maydonni o'lchashdan ko'ra oqimni o'lchash uchun qurilmani samarali yaratadi (8.20 - rasm).

Agar OKTni tayyorlash uchun ishlatiladigan materialning Verde nisbati etarlicha yuqori bo'lsa, u holda temir yadroni tashlab yuborish mumkin. Ushbu tartibga solish ham bir oz e'tiborni tortdi, chunki u osongina o'zgartirilishi mumkin bo'lgan juda ixcham sensorlarni ishlab chiqarish imkonini beradi. Ushbu dizaynlar "bo'linmagan" deb ataladi, chunki sezgir vosita o'tkazgichni o'rab olmaydi; shuning uchun ular to'g'ridan-to'g'ri oqim o'lchovidan ko'ra magnit maydon o'lchovini ta'minlaydi.

Yagona o'tish qurilmalari konseptual jihatdan ulardan eng oddiydir (8.21-rasmga qarang), lekin yorug'likni o'lchash yo'lini qayta-qayta kesib o'tishga majburlovchi qurilmalar yordamida

sezilarli dizayn murakkabligisiz sezgirlikni sezilarli darajada oshirish mumkin (8.22-rasm).

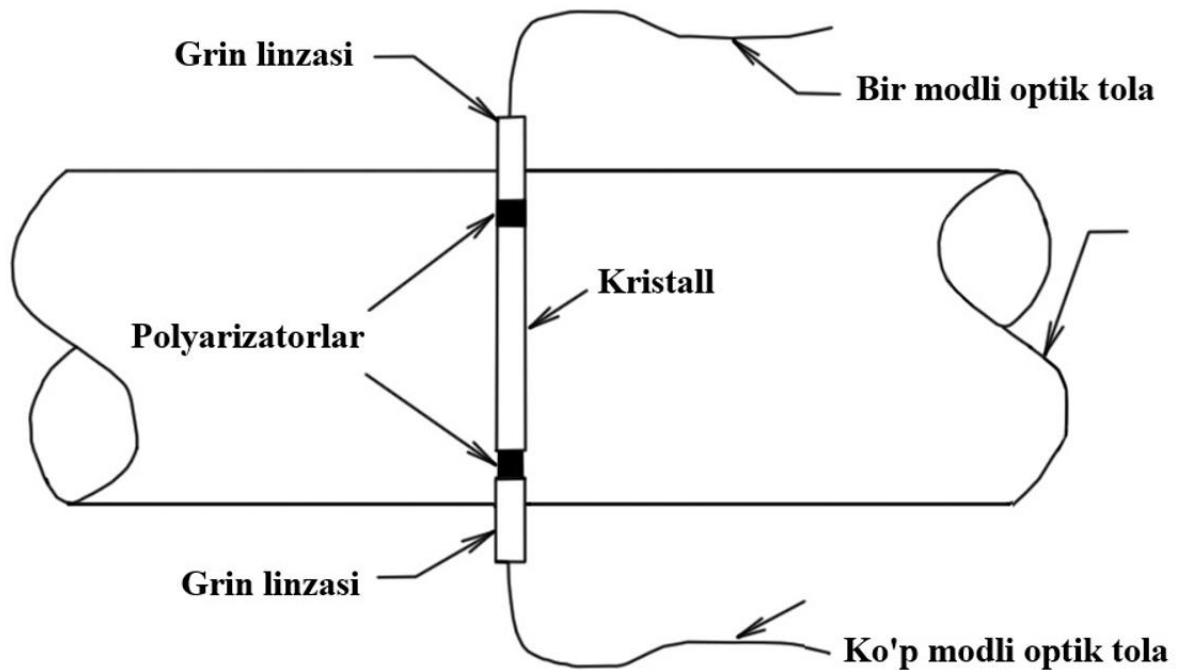
Bu qurilmalarning barchasi Faraday materiallarining, ayniqsa, granatlarning nisbatan kuchli haroratga bog‘liqligidan aziyat chekmoqda.



8.20-rasm. *Gibrid yoki oqim konsentratori OOK.*

Biroq, bu ta'sirni bekor qilish yoki qayta ishlashdan keyingi elektronikaga birlashtirish mumkin bo‘lgan bir nechta usullar haqida xabar berilgan.

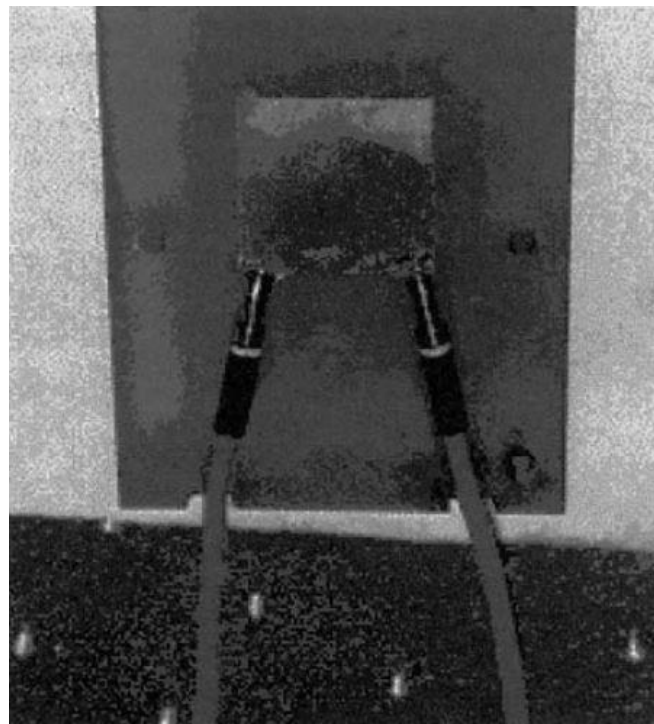
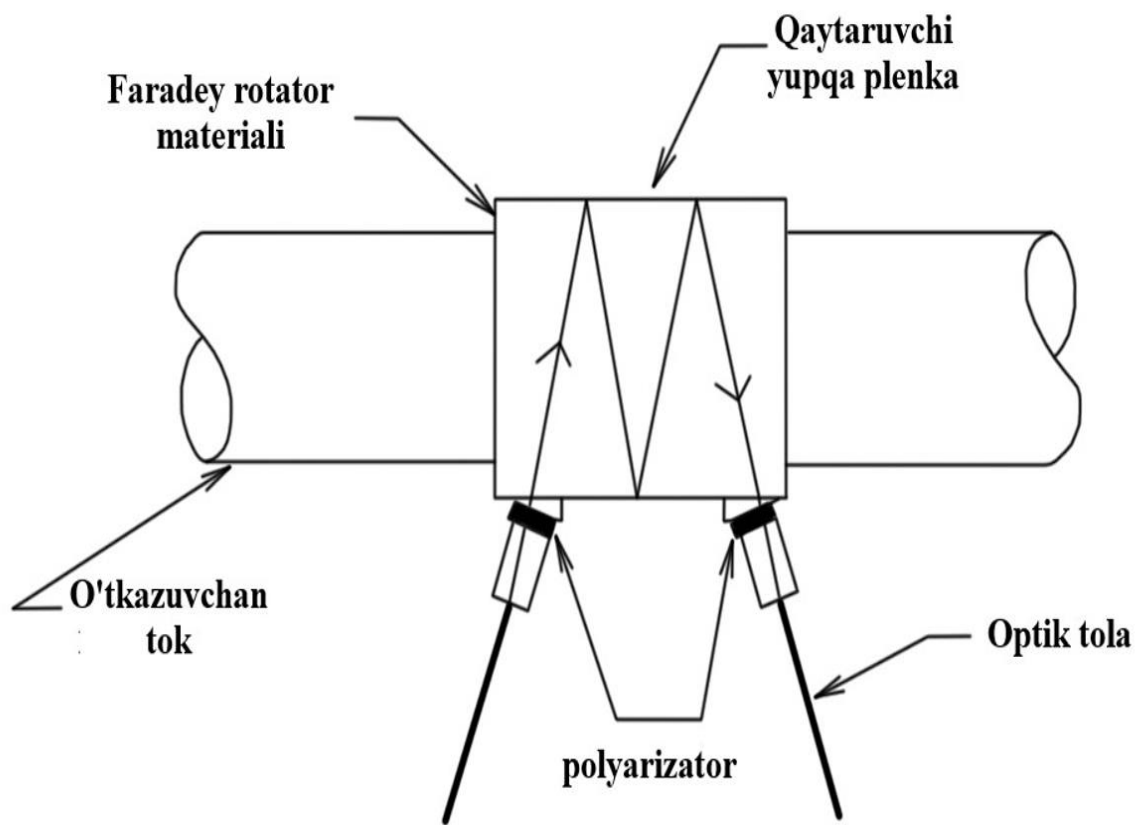
Kristallarga asoslangan OOK uchun harorat va tebranish kompensatsiyasi sxemalari. OKT ning harorat o‘zgarishiga va mexanik ta’sirlarga sezgirliги ushbu sohalardagi tadqiqotchilarni ushbu ta’sirlarni minimallashtirish yoki qoplash yo‘llarini topishga olib keldi. Mexanik ravishda induksiya qilingan uzatish o‘zgarishlarida talab qilinadigan ishlov berish nisbatan sodda, chunki joriy o‘lchash jarayonining o‘zaro bo‘lmagan tabiati katta afzalliklarga ega bo‘lishi mumkin.



8.21-rasm. Bir martalik chipli OKT.

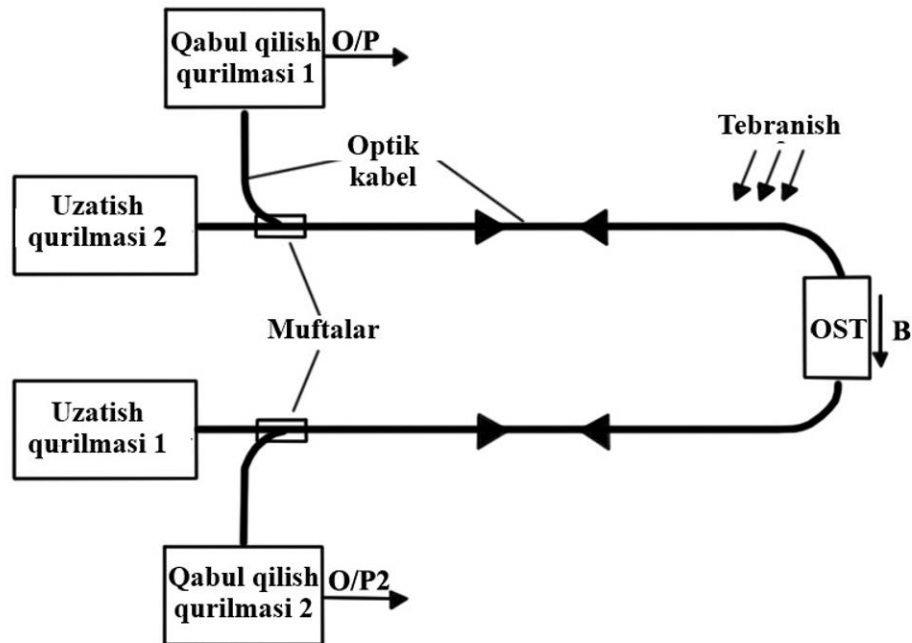
OKTni so'roq qilish uchun ikkita mustaqil yorug'lik manbalari ishlatiladi, ular optik sxema bo'ylab qarama-qarshi yo'nalishda tarqaladi (8.23 - rasm). Optik qutblanish holatida aylanish OKT orqali yorug'lik tarqalish yo'nalishiga bog'liq, intensivlikdagi o'zgarishlar esa mustaqildir. Shu tarzda, tebranish ta'sirini inkor etish uchun ikkita qarama-qarshi signalni qayta ishlash mumkin. Har ikkala o'zgaruvchan tok va doimiy oqim o'lchovlari shu tarzda tuzatilishi mumkin va jarayonning samaradorligi 8.24 - rasmda aniq ko'rsatilgan. kompensatsiyalangan va kompensatsiyalanmagan signallarni ko'rsatadi. Shuni ta'kidlash kerakki, bu signallar kompensatsiya sxemasining samaradorligini ko'rsatish uchun o'lchangan signalda sun'iy ravishda yuqori darajadagi buzilishlarni yaratish uchun mo'ljallangan eksperimentning bir qismi sifatida qayd etilgan. Ular oddiy tebranish darajasining vakili emas.

8.25 - rasmda yuqoridagi o'lchovdagi kompensatsiyalangan va kompensatsiyalanmagan oqim bilan bog'liq xatolarni ko'rsatadi. Haddan tashqari mexanik shovqinga qaramay, kompensatsiyalangan kanal xatolari barqaror holatda bo'lgani kabi qoladi, kompensatsiyalanmagan kanal xatolar esa juda yuqori darajaga yetadi.



8.22-rasm. *Kristal asosidagi nisbiy turdagi OKT.*

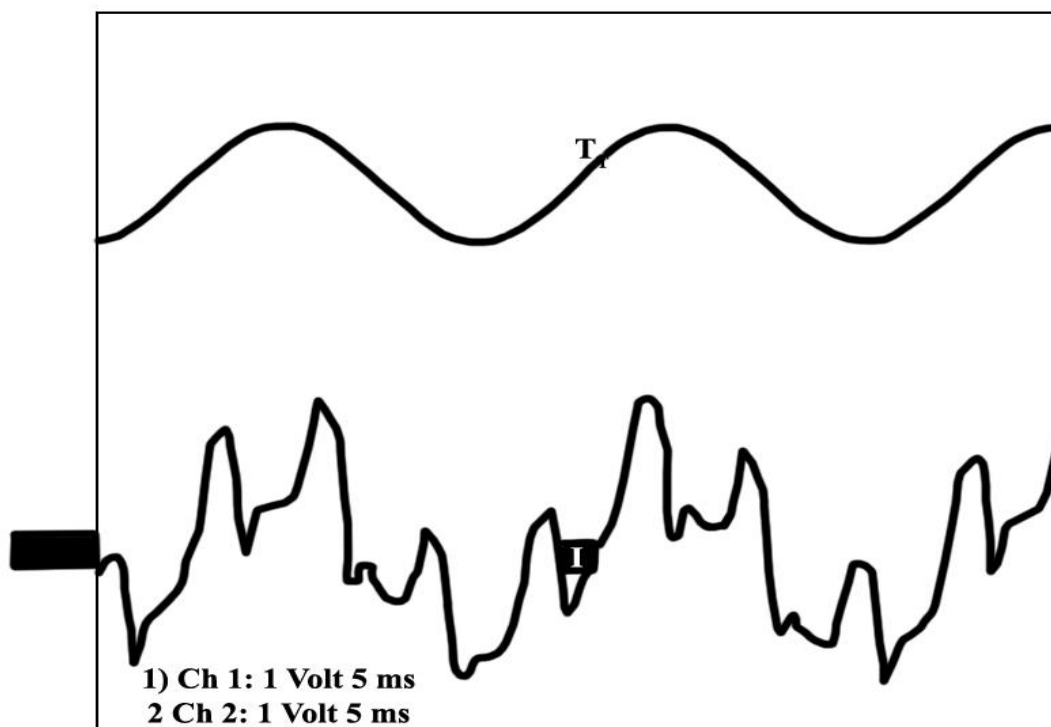
Ko'pgina materiallarning (ayniqsa, granatlarning) Verde konstantasi ish haroratiga juda sezgir bo'lganligi sababli harorattan kelib chiqadigan xatolar yuzaga keladi. Paramagnetlar uchun Verde konstantasining harorat bilan o'zgarishini taxmin qilish mumkin.



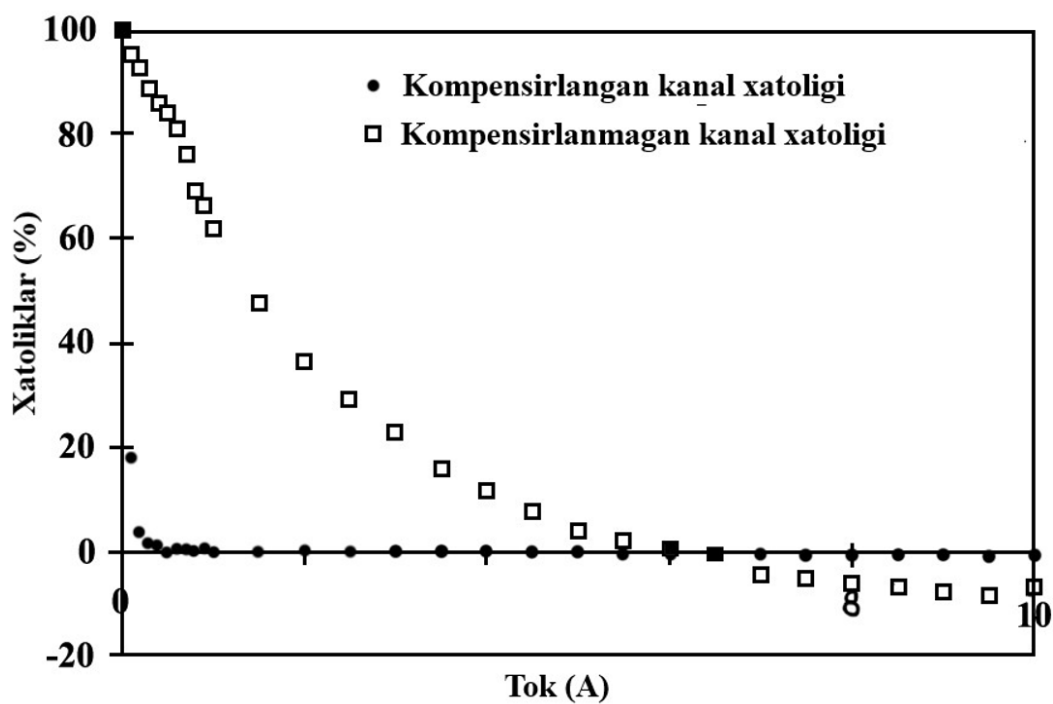
8.23-rasm. Optik tizimda ikki tomonlama yorug'lik tarqalishining konfiguratsiyasi.

$$V = \alpha/T + \beta, \quad (8.43)$$

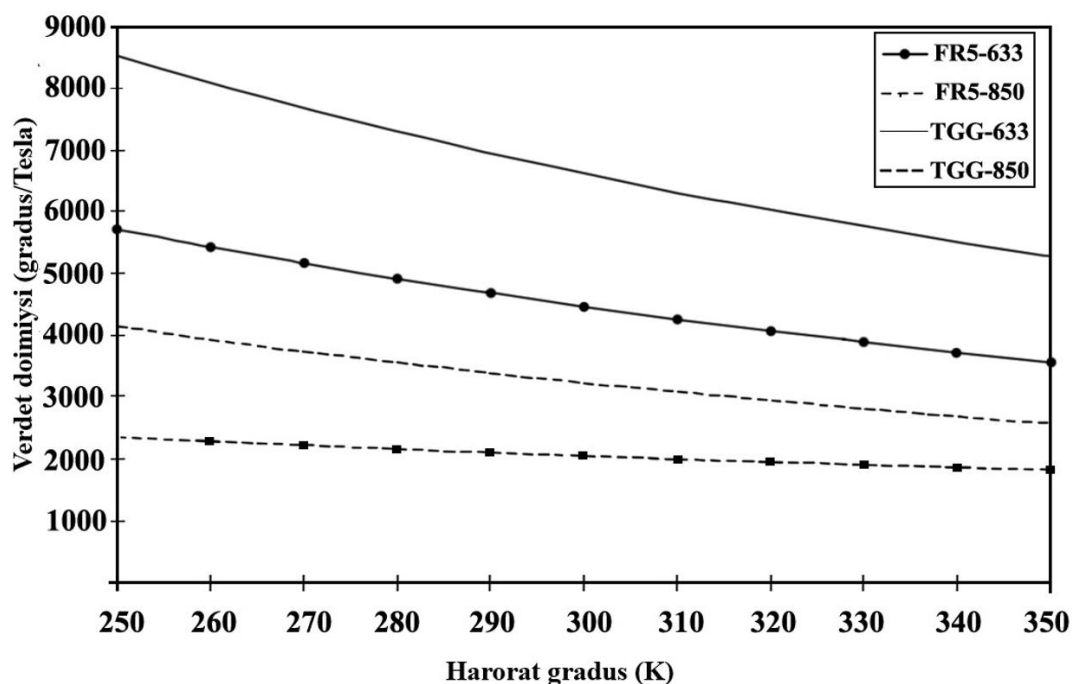
α va β koeffitsiyentlari har bir materialga va sensori so'roq qilish uchun ishlatiladigan to'lqin uzunligiga bog'liq. Ikkita materialning sezgirligi, terbium gallium granatasi (TGG) va Faraday Rotator-5 (FR5) shishasi 8.26 - rasmda ko'rsatilgan, chunki ikkalasi ham nisbatan yuqori Verde konstantalariga ega va ular savdoda mavjud. Verde konstantalari ishlab chiqaruvchi tomonidan taqdim etilgan ma'lumotlar asosida baholangan va eksperimental tarzda tasdiqlangan. Ular 8.26 - rasmda ko'rsatilgan. Odatda ish harorati oralig'ida (250 dan 350 K gacha) ikkita optik to'lqin uzunligi (633 nm va 850 nm) uchun.



8.24-rasm. Vibratsiya sinovi vaqtida ikkita OOK chiqishining ossillogrammalari.



8.25-rasm. OOK chiqish xatolari (tebranish. 180Hz, 8g, ulagichning tebranishi).



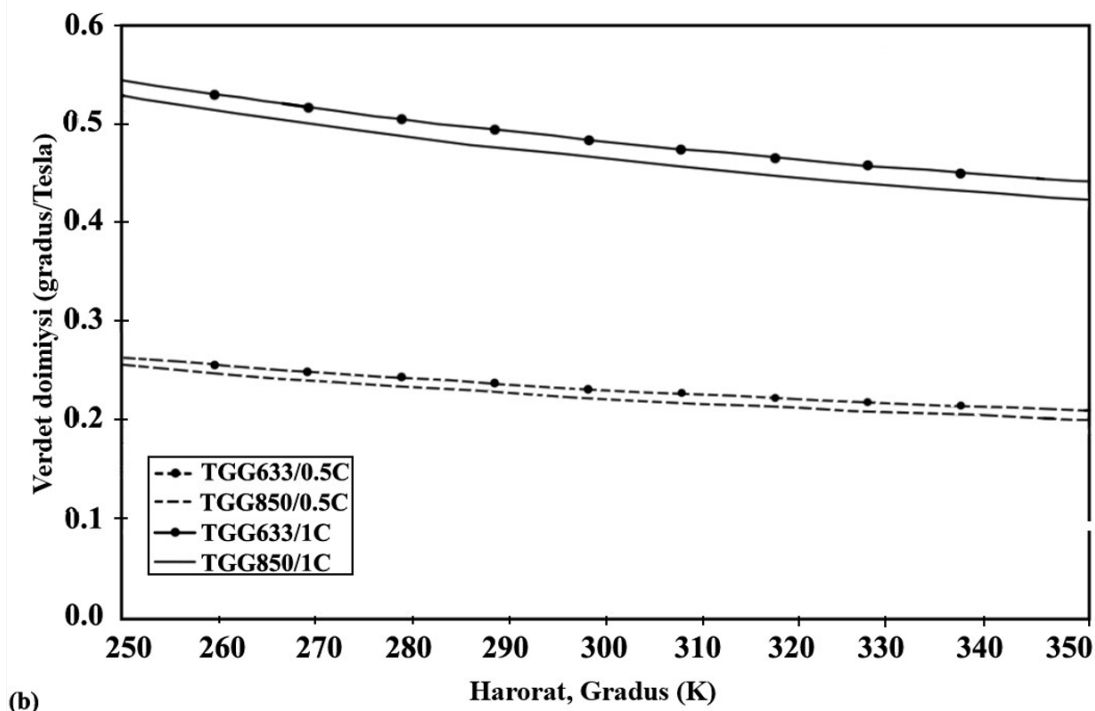
8.26-rasm. Verde konstantasining harorat va to‘lqin uzunligi bilan o‘zgarishi.

Harorat o‘zgarishining ta‘sirini T_1 dagi Verde konstantasi va $T_{1+\delta T}$ dagi Verde konstantasi o‘rtasidagi farqni baholash yo‘li bilan erishish mumkin (bu erda dT harorat o‘lchovidagi kichik og‘ishdir) har qanday berilgan material va to‘lqin uzunligi kombinatsiyasi uchun. Bu 8.27 va 8.28 - rasmlarda ko‘rsatilgan, bu yerda tasvirlash uchun δT 0,5 va 1°C ga o‘rnatildi. Mahalliy haroratni 1°C gacha bilish yuqoridagi materiallarning har qandayidan foydalangan holda himoya klassi qurilmalarini yaratish uchun yetarli aniqlik bilan materiallarning Verde doimiyligini o‘rnatishga imkon beradi. Biroq, sensorning harorati $0,5^\circ\text{C}$ ichida ma‘lum bo‘lsa ham, yuqoridagi materiallar va to‘lqin uzunligi kombinatsiyalarining hech biri 0,1 sinf o‘lchov ko‘rsatkichlarini olish uchun ishlatilmaydi.

Yuqoridagi misolda, eng yaxshi ishlash (ya‘ni, harorat xatolariga eng kam sezgir) FR5 ko‘zgidan tayyorlangan sensor yordamida olinishi mumkin va 850 nm ish to‘lqin uzunligida so‘roq qilinadi. Haroratning ta‘sirini hisobga olmagan holda, sensor parametrlarining bunday tanlovi tabiiy bo‘lmaydi, chunki FR5 ko‘zgusi barcha materiallar va to‘lqin uzunligi kombinatsiyalarining eng past Verde konstantasiga ega. 633 nm manba bilan so‘roq qilingan TGG tanlangan bo‘lishi ehtimoldan yiroq, chunki u oqimga

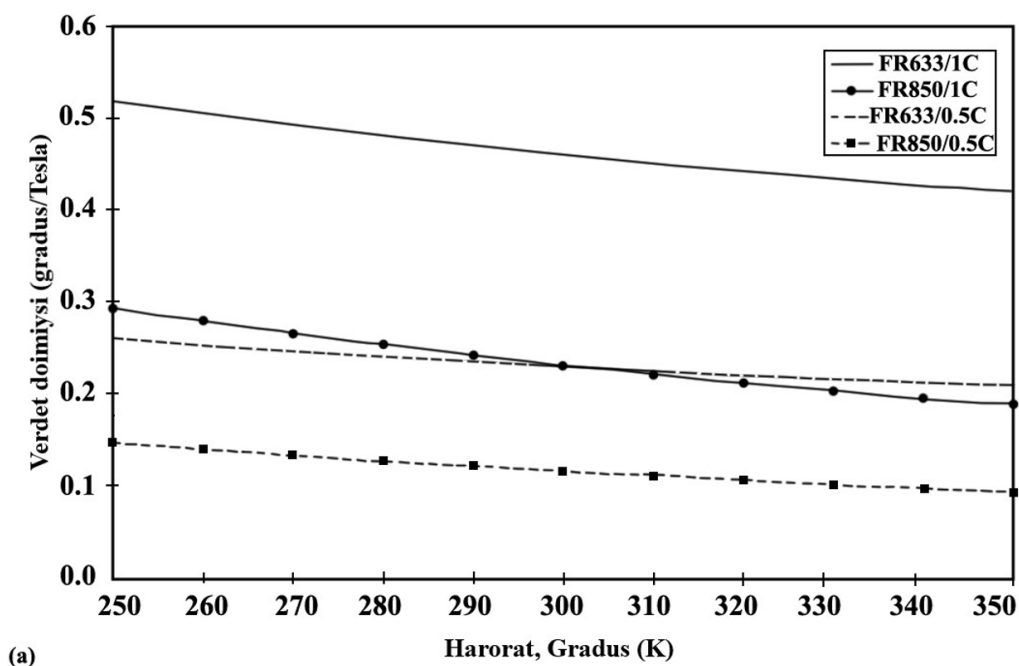
eng sezgirlikni ta'minlaydi (lekin harorat o'zgarishiga eng sezgir). Harorat ta'sirining batafsil tahlilini boshqa joylarda topish mumkin. Biroq, bu ishning umumiy xulosasi shundan iboratki, harorat tufayli yuzaga kelgan o'lchash xatosini samarali qoplash uchun o'lchash kristalining ish harorati yuqori aniqlik bilan ma'lum bo'lishi kerak: o'rganilayotgan maxsus holatlarda, $0,1^{\circ}\text{C}$. o'lchov sinfi. operatsiya.

Ko'pgina tadqiqotchilar haroratni kompensatsiya qilish muammosini bilvosita haroratni o'lchash usullari yordamida hal qilishga harakat qilishdi, bu erda qurilma harorati ikki xil to'lqin uzunligida amalga oshirilgan joriy o'lchovlar yoki boshqa shunga o'xshash usullar asosida aniqlanadi. Biroq, bu va shunga o'xshash ikki parametrlil o'lchovlarning batafsil tahlili shuni ko'rsatdiki, umuman olganda, haroratni tiklash jarayoni butun o'lchov oralig'ida barqaror emas. Harorat haqidagi ma'lumotni olishning yagona haqiqiy samarali vositasi oqim ta'sir qilmaydigan protseduralar yordamida to'g'ridan-to'g'ri o'lchashdir. Yaqinda o'tkazilgan tadqiqot harorat sensori sifatida tolali Bragg panjarasidan foydalangan holda 20 dan 120°C gacha bo'lgan harorat oralig'ida haroratni kompensatsiyalangan o'lchovni ko'rsatdi (8.29 - rasm).



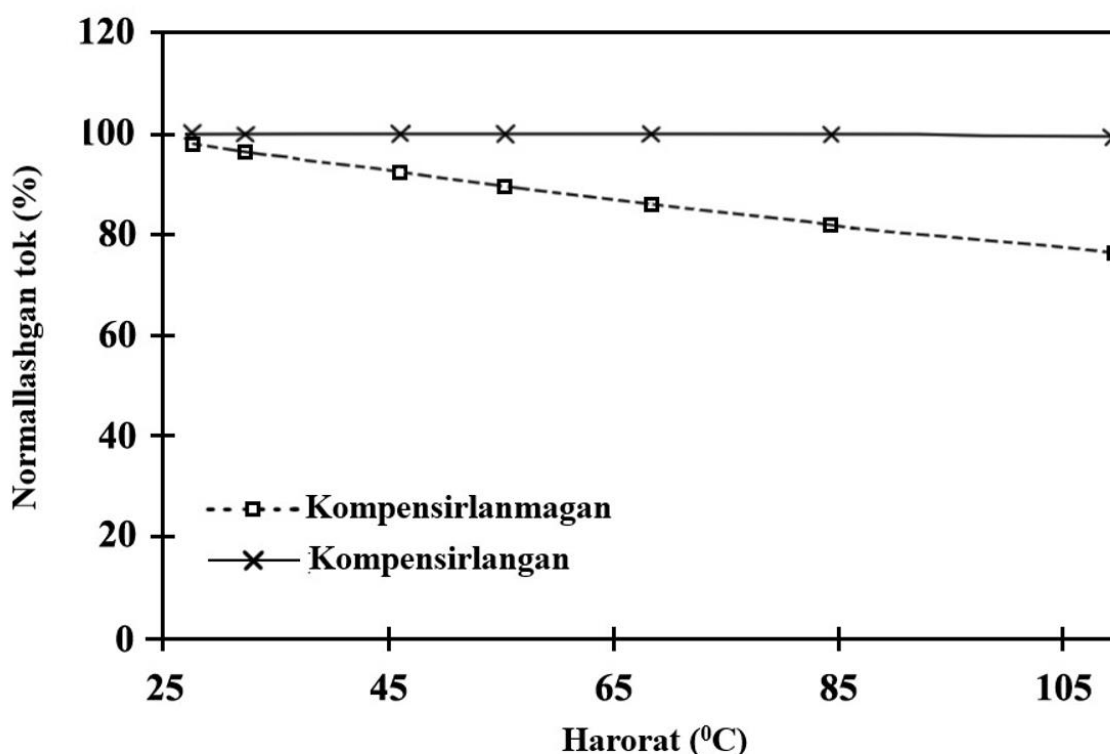
8.27-rasm. Verde doimiy xatosi (TGG).

Kuchlanish va oqim transformatorlarining dala sinovlari misollarini sohadagi har bir yirik sanoat o‘yinchisida topish mumkin. Toshiba, Panasonic va Tokyo Electric Company kabi kompaniyalar ushbu mavzu bo‘yicha ko‘plab nashrlarni nashr etgan Yaponiyada optik texnologiyaga qiziqish ayniqsa, kuchli ko‘rinadi. 1990-yillarning oxirlarida optik tok konvertorlari bozori hajmining hisob-kitoblari shuni ko‘rsatdiki, Yaponiyada har yili bir necha ming qurilmalar sotilgan. Birgina Panasonic kompaniyasi nosozliklarni aniqlash va o‘lchash uchun bir necha ming optik sensor boshlarini jami yetkazib berish haqida xabar berdi. Uning granat kristaliga asoslangan OKT ni oqim konsentratori sifatida ishlaydigan permalloy yadrosi bilan olish mumkin. Ushbu qurilmalar OOKni joylashtirish uchun 25 mm havo bo‘shlig‘iga ega va 500 GHz tarmoqli kengligida taxminan 2 mA ekvivalent shovqin oqimiga ega. Oqim konsentratori bo‘lmagan xuddi shu qurilma taxminan 10A tokni aniqlashga qodir. Toshiba o‘z sa’y-harakatlarini to‘liq optik tolali qurilmani yaratishga qaratgan va JEC1201 o‘lchov sinfida ko‘rsatilgan dala sinovlari haqida xabar bergan. Tola o‘ralgan oqim o‘tkazgichining o‘lchov sezgirligi taxminan 3A ni tashkil qiladi va sensorning uzoq muddatli barqarorligi GIS uskunasi in situ 0,15% dan yaxshiroqdir.



8.28-rasm. Verde doimiy xatosi (FR5).

Evropada joriy sensorlar sohasida sezilarli tadqiqot faoliyati olib borilgan bo'lsa-da, ushbu qurilmalardan tijorat maqsadlarida foydalanish haqida ma'lumot olish qiyinroq. Albatta, yirik sanoat kompaniyalari – Siemens, ABB va GEC bu yo'nalishda faol izlanishlar olib bormoqda va bu ishlar bizga talab qilinadigan xususiyatlarga javob beradigan qurilmalar ishlab chiqarish imkonini beradi. Kelgusi yillarda ushbu qurilmalarning sotuvi barqaror bozorga aylanishi mumkin.



8.29-rasm. Harorat kompensatsiyasi bilan joriy o'lchov.

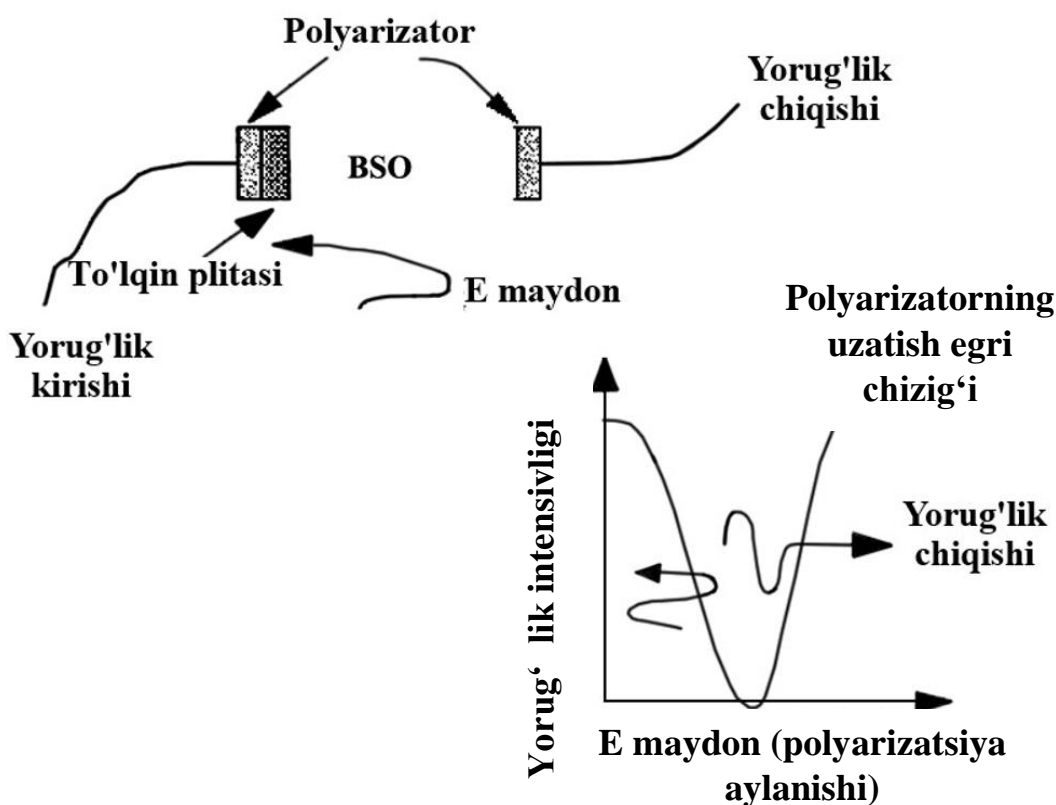
8.5. Optik kuchlanish sensori

8.5.1. Polyarimetrik kuchlanish sensorlari

Optik kuchlanish konvertorlarini ishlab chiqarish uchun OOKda qo'llaniladiganlarga to'g'ridan-to'g'ri ekvivalent bo'lgan polyarimetrik o'lchash sxemalaridan foydalanish mumkin. Sensor optik faol $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_2$ (BSO) kristalida yoki shunga o'xshash kristallda (masalan, BGO va BTO) elektr maydoni mavjudligida yuzaga keladigan polyarizatsiya aylanishini o'lchaydi. Sensor boshidagi

umumiy tizim va komponentlarning buzilishi quyida rasmda ko'rsatilgan (8.30-rasm).

Voltaj o'zgarishlarini aniqlash uchun ishlatiladigan fizik mexanizm Pockels effekti deb nomlanadi va materialning sinishi indeksining elektr maydon kuchidagi o'zgarishlarga sezgirligini ishlatadi. Amaldagi material turiga qarab, odatda, qurilmalarning ikki sinfi ishlab chiqilgan. 43 m sinfidagi kristallar (masalan, $\text{Bi}_4\text{Si}_3\text{O}_{12}$) o'zlarining dumaloq qo'sh sinishiga ega emas, 23,06 tipidagi kristallar (masalan, $\text{Bi}_{12}\text{Si}_3\text{O}_{20}$) esa o'zlarining dumaloq ikki sinishiga ega. Polyarimetrik sensorlar har qanday sinfdan tayyorlanishi mumkin, ammo dumaloq ikki sindiruvchi kristal, prinsipial jihatdan, sensorning qoldiq harorat ta'sirini qoplash imkonini beradi.

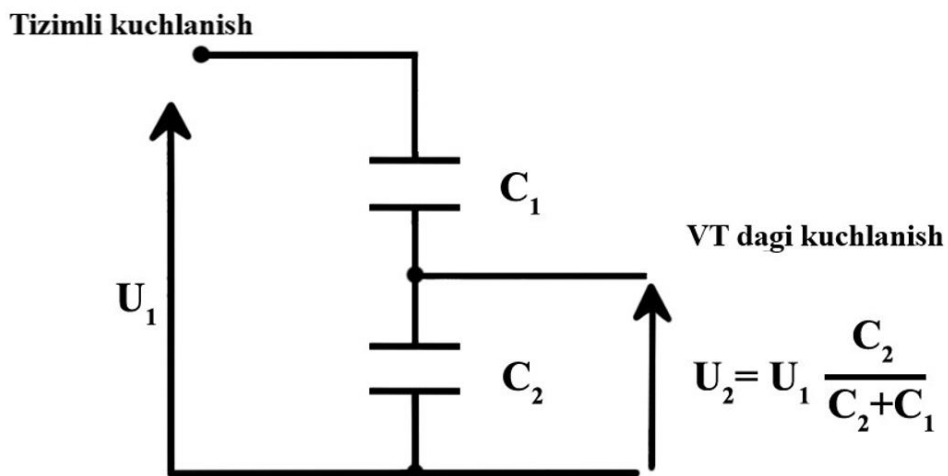


8.30-rasm. Optik kuchlanish sensori sxemasi

O'rganilgan VTning muqobil Rasmlariga o'rnatilgan optik qurilmalar kiradi. Ushbu qurilmalar odatda LiNbO_3 dan fotolitografik ishlov berish usullaridan foydalangan holda ishlab chiqariladi. Integratsiyalashgan optik ishlab chiqarish texnikasi murakkab optik

tuzilmalarni bitta substratga birlashtirishga imkon beradi, bu ixcham va potensial mustahkam qurilmani tashkil qiladi. Biroq, barcha integratsiyalashgan optik komponentlar texnologiyalarida bo‘lgani kabi, bu texnologiya qimmat va to‘lani qurilmaga va to‘laga qayta ulash jarayoni ahamiyatsiz emas. Bir nechta tadqiqotchilar integratsiyalashgan optik kuchlanish transformatorlarining laboratoriya versiyalarini namoyish etdilar, ammo hozirgi kunga qadar elektr ta‘minoti sanoatida ularga qiziqish cheklangan.

Optik kuchlanish sensori aslida elektr maydon sensori hisoblanadi. Ideal holda, butun elektr maydoni kristall orqali o‘tishi kerak, ammo bu amaliy emas. Shuning uchun kristalda hosil bo‘lgan elektr maydoni chiziqli potensialga nisbatan doimiy bo‘lib qolishiga e‘tibor berish kerak; Bunga, odatda, 8.31 - rasmda ko‘rsatilganidek, oddiy sig‘imli ajratgich bilan erishiladi. Qoida tariqasida, elektr VTlarda bu mumkin emas, chunki VT ning sig‘imi ajratuvchi tarmoqning barqarorligiga ta‘sir qiladi. Biroq, optik VT cheksiz impedans VT ga teng, shuning uchun oddiy yuklash effektlarini e‘tiborsiz qoldirish mumkin.

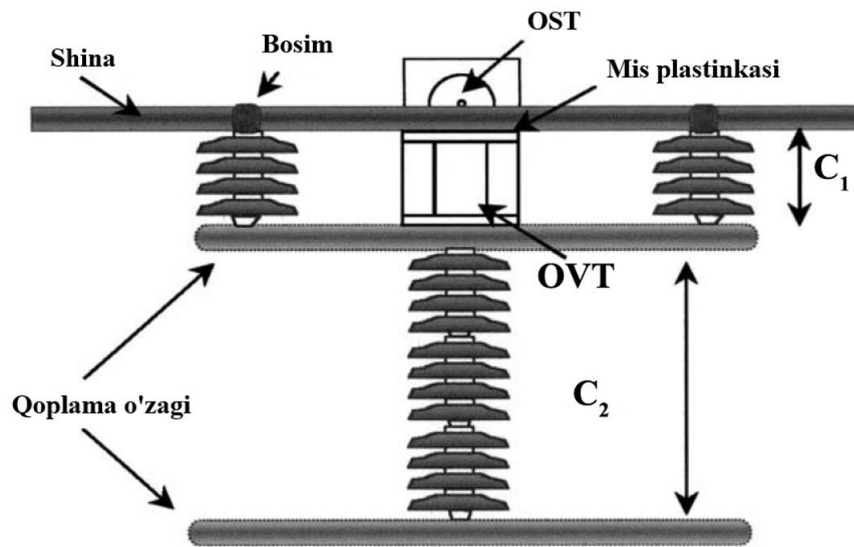


8.31-rasm. Kapasitiv kuchlanish bo‘luvchi.

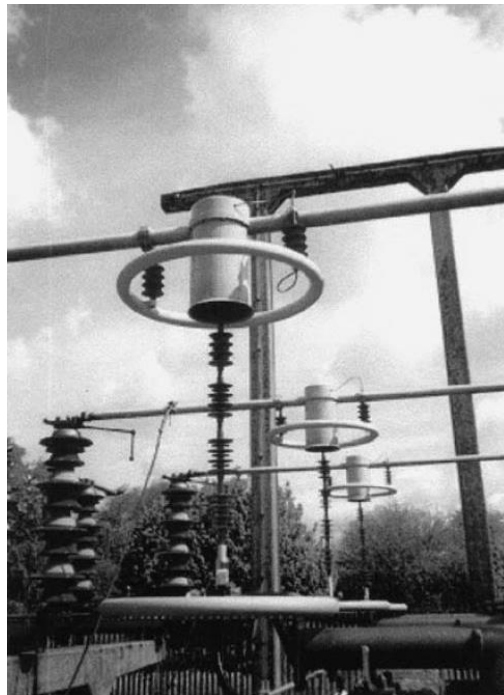
Kapasitiv ajratuvchi qurilmaning amalga oshirilishi 8.32-rasmda va uning fizik bajarilishi 8.33 - rasmda ko‘rsatilgan. Toj halqalari ma‘lumotnomada ta‘riflanganidek, C_2 kondensatoridir. C_1 qo‘shimcha metall plastinka (chiziqli potentsialda) va yuqori korona

halqasi yordamida hosil bo‘ladi. Yuqori plastinka C_1 ni hosil qilishda ishlatiladigan mis plastinkani eng yaxshi o‘rnatishini yaqindan ko‘rish mumkin.

OKT o‘tkazgichning yuqorisidan ko‘rinadi, OOK esa elektr maydon chiziqlari bo‘ylab radial yo‘naltirilgan o‘tkazgich ostida yotadi.



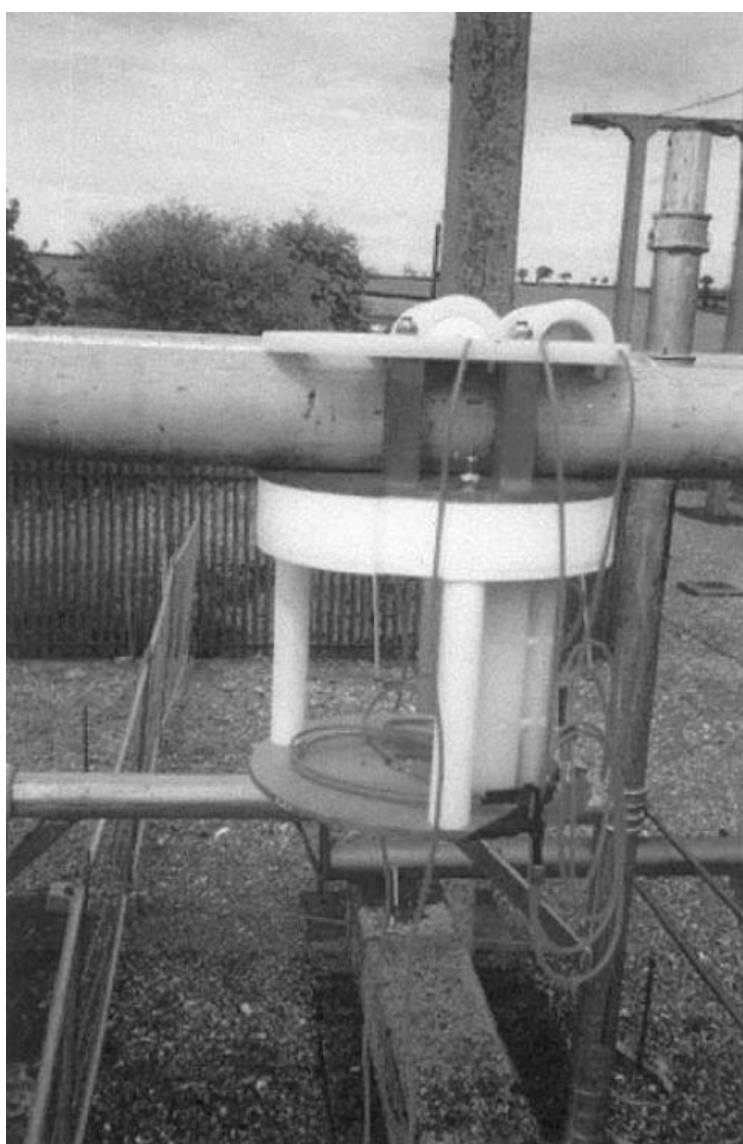
8.32-rasm. Kapasitiv kuchlanish bo‘luvchini amalga oshirish.



8.33-rasm. Uch fazali optik kuchlanish va oqim sensorlarining dala o‘rnatilishi.

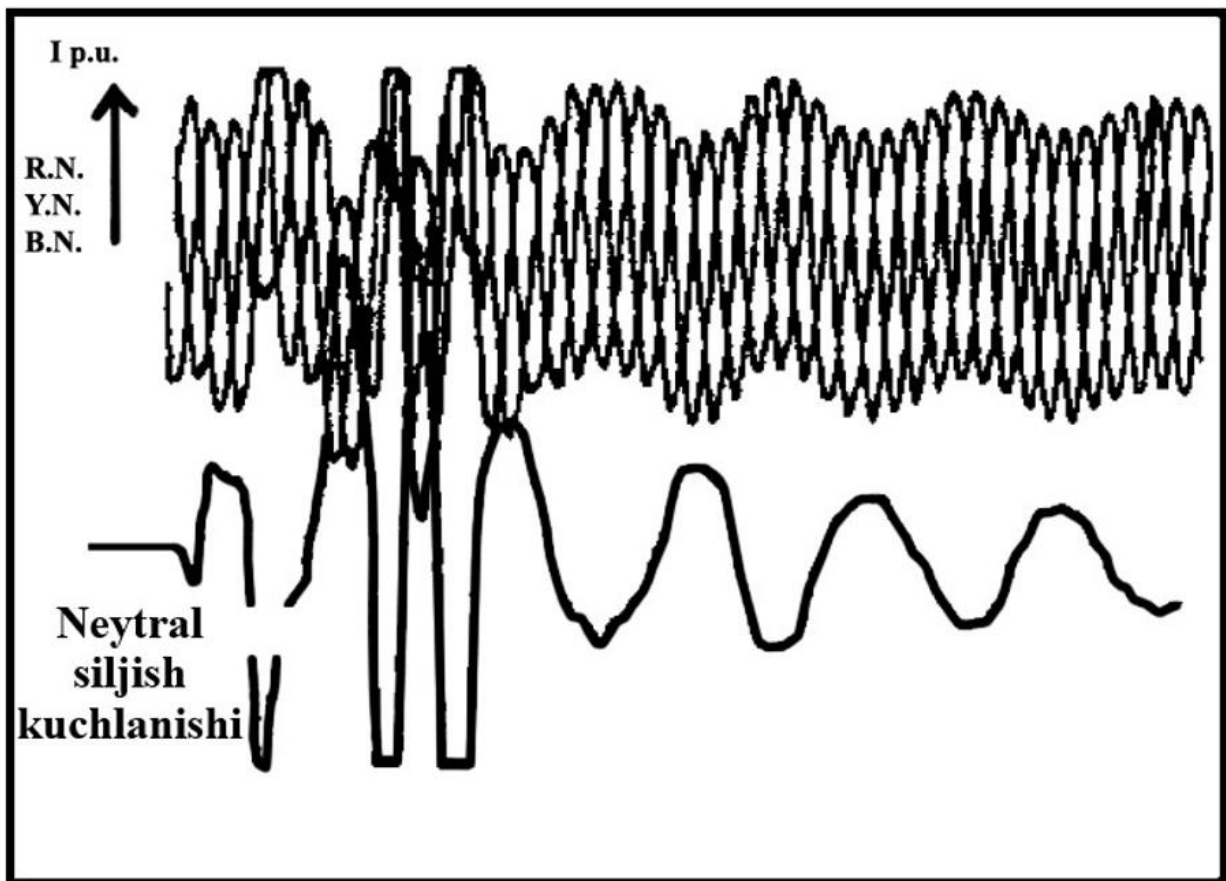
8.5.2. Optik tarmoqning beqarorligi diagnostikasi

Optik tolali sensorlarning ikkita asosiy afzalligi – ularning elektromagnit parazitlarga qarshi immuniteti va oxirgi, lekin eng muhimi, elektromagnit zanjirga xalaqit bermasligi. Mahalliy - o‘rnatilgan avlod tizimlaridan foydalanish ortib borishi bilan bu xususiyat tobora muhim ahamiyat kasb etadi. 1999-yilda tarmoqning beqarorligini o‘rganishda optik kuchlanishni o‘lchash uchun uskunalardan yordamida vazifa ancha soddalashtirildi.



8.34-rasm. OOK = OVT o‘rnatilishining yaqindan ko‘rinishi.

49 MVt quvvatga ega estrodiol stansiyani ishga tushirish sinovlari davomida generator transformatori 132 kV (132=11,5 kV) tarmoqdan quvvat oldi. Tarmoqqa har bir ulanishda bug‘ turbinasining neytral kuchlanish himoya relesi (NVD) ishga tushirildi. Optik kuchlanish konvertorlari chiziqli kuchlanishni o‘lchash uchun ishlatilgan va elektr o‘lchash uskunasi liniyaga ulanganda birlik darajasidagi neytral kuchlanish (8.35 - rasmga qarang) mavjudligini aniqladi. Optik konvertorlar bunday ta’sirga ega emas edi, chunki ular elektromagnit zanjirga ta’sir qilmagan. Ushbu aralashuv natijasida tarmoqning beqarorligi muammosiga muvaffaqiyatli yechim ishlab chiqildi.



8.35-rasm. Bug 'turbinasi kuchlanish egri chiziqlari VT (yulduzli o‘rash) RYB kuchlanishi va bug‘ turbinasi ochiq uchburchak kuchlanishi, gaz turbinasi neytral egilish kuchlanishi.

8.6. Xulosalar

So‘nggi o‘n yil ichida optik tolali sensorlar sohasi telekommunikatsiya sanoati tomonidan boshqariladigan yordamchi componentlar texnologiyasida amalga oshirilgan ishlanmalar tufayli sezilarli darajada rivojlandi. Texnologiyaning nisbiy yetukligini aks ettirgan holda, universitetlar va sanoat markazlaridagi tadqiqot faoliyati fizik tushunchalarni namoyish qilishdan keyin prototiplarga aylantirilishi mumkin bo‘lgan sinov asboblarini ishlab chiqarishga o‘tdi. Diqqatning bu muhim o‘zgarishi bilan optik tolali tadqiqotchilar optik tolalarning og‘ir muhitda qo‘llanilishini batafsil ko‘rib chiqishlari kerak edi.

Optik tolali sensorlar, shubhasiz, ilmiy-tadqiqot ishlarining katta qismi jamlangan strukturaviy monitoring kontekstida muhim rol o‘ynaydi. Biroq, bu sensorlar boshqa joylarda keng qo‘llanilishi mumkinligi aniq; masalan, optik o‘lchash usullari sezgirlik va ish faoliyatini oshiradi, izolyatsiya talablarini minimallashtirish orqali xarajatlarni kamaytiradi. Ushbu bob polarimetrik sensorlarga qaratilgan bo‘lib, bu kontekstda kuchlanish va oqimni o‘lchash uchun yordamchi texnologiya sifatida muhim rol o‘ynashi kerak.

9-BOB. OPTIK TOLALARNI ULASH

9.1. Optik tolalarni ulash

Optik tolalarni ulash (OTU) liniyalari bo‘ylab axborotni uzatishni eng muhim masalalaridan biri optik tolalarni ishonchli ulanishini ta‘minlash hisoblanadi. Optik ulagich – bu nurlanishni kiritish va chiqarish joyida, optik tolali aloqa liniya traktining turli komponentlarini, optoelektron modullarni kabel tolalari bilan ulash, kabelning qurilish uzunliklarini bir-biri yoki boshqa komponentlar bilan ulash uchun mo‘ljallangan qurilma. Ulagichlar ajraladigan va ajralmaydiganga bo‘linadi. Ajralmaydigan ulanishni ta‘minlovchi, asosiy montaj usuli payvandlash hisoblanadi. Ajraladigan ulagichlar (konnektor, connectors termini keng qo‘llaniladi) ko‘p martalab ulash/ ajratish imkonini beradi.

Amaliyotda ajraladigan optik ulagichlar kabelni ikkala oxirida va ajralmaydigan optik ulagichlar oraliq seksiyalarni ulashda qo‘llaniladi. Bunga quyidagilar sababdir: ajralmaydigan ulagichlar kirituvchi yo‘qotishlar sathi minimal bo‘lib, 1 ta ulagichda 0,04 dB ni tashkil etadi. Ajraladigan optik ulagichlar kirituvchi yo‘qotishlar esa katta. Bundan tashqari ajralmaydigan ulagichlar aniq doimiylikni ta‘minlaydi, bu ajraladigan optik ulagichlarni yuqorida aytib o‘tilgandek bir necha va ko‘plab ulash ajratish kutiladigan joylarda, masalan, kommutatsion panellarda yoki ulanishli krosslarda ishlatishni talab etadi.

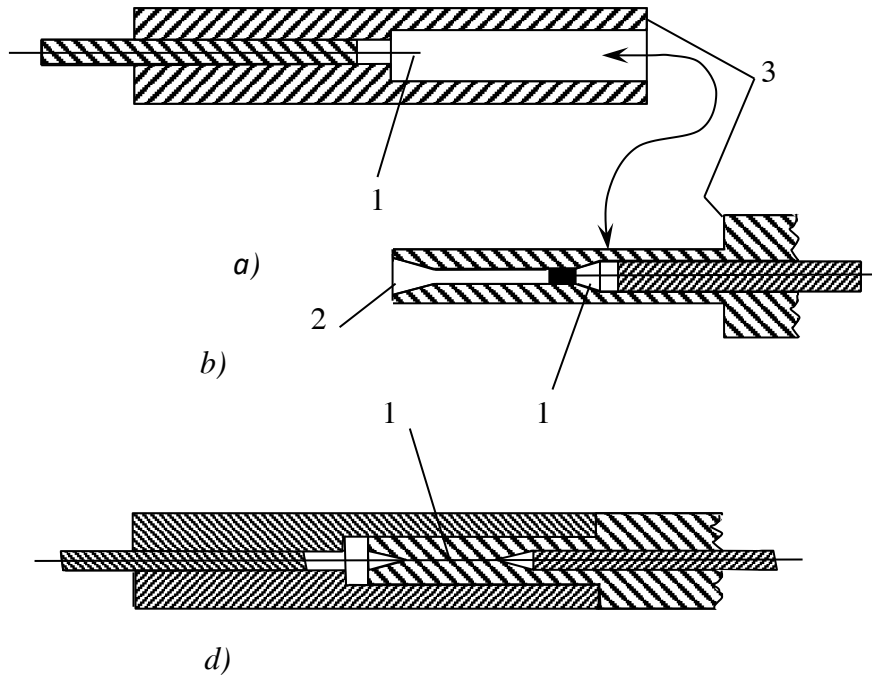
9.2. Ajraladigan optik ulagichlarning tuzilishi

9.1 - rasmda shtekerli ajraladigan optik ulagich ko‘rsatilgan. Bu ulagichda uya va shtir qismlari ulanadi. Ulanishdan so‘ng gayka bilan mustahkamlanadi.

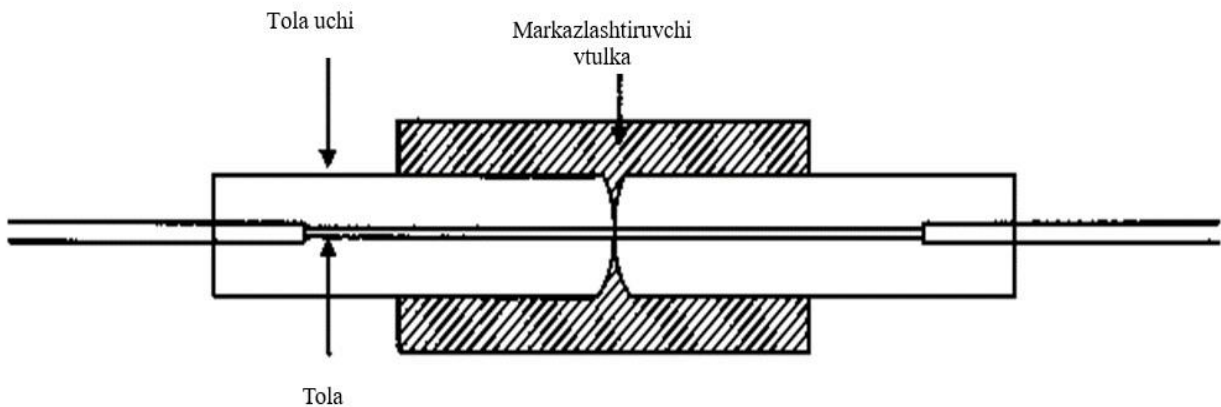
So‘nggi qism (ferrule) i markazlashtirilgan vtulka – markazlash-tiruvchi vtulka (sleeve) korpusda joylashib, zarur optik kontakti amalga oshirish imkonini yaratadi.

Ulagichlarga quyidagi talablar qo‘yiladi: kirituvchi yo‘qotishlari va teskari aks etishlari kam, tashqi mexanik, klimatik va boshqa

ta'sirlarga bardoshli, yuqori ishonchli, tuzilishi sodda va ko'p martalab takroriy ulanishlardan so'ng xarakteristikalari bir ozgina yomonlashishi kerak.



9.1-rasm. Shtekerli ulash: a - uya; b-shtir; d-ajraladigan ulagich; 1 – tola; 2 - kanal; 3 - birlashuvchi yuzalar.

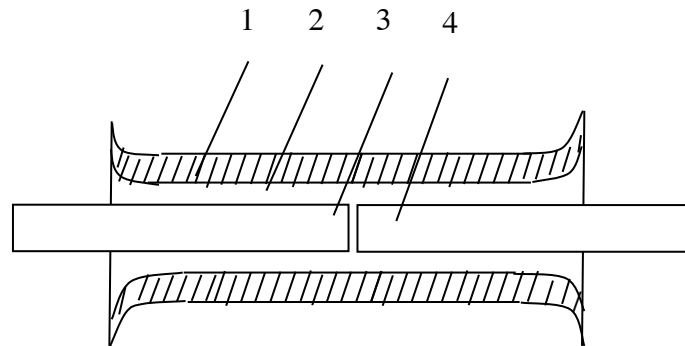


9.2-rasm. Optik ulagich diagrammasi sxemasi

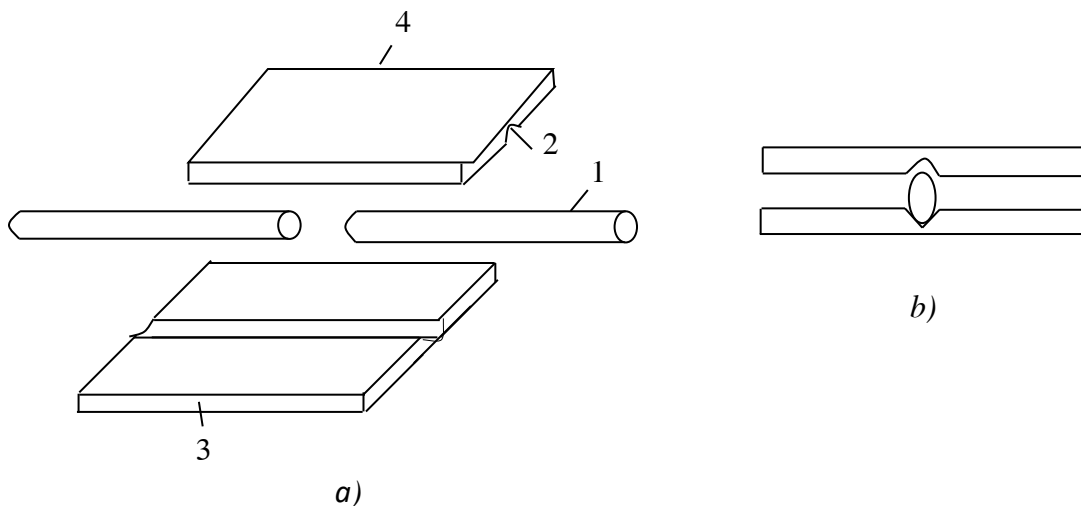
9.3. Optik tolalarni ajralmaydigan ulashlar

Ajralmaydigan optik ulashni keng tarqalgan usullaridan biri shishadan tayyorlangan *trubka* yordamida ulash hisoblanadi (9.3 - rasm). Bunday ulashda kiritiluvchi soʻnish qiymati 0,29 dBni tashkil etadi.

Dumaloq ariqchali – plastina yordamida tolalarni ulash (9.4 - rasm) usulida kiritiladigan soʻnish sathi 0,5 dB ni tashkil etadi. Tola oxirlari aniq markazlashtirilib, soʻng yopishtiriladi yoki payvandlanadi.



9.3-rasm. *Trubka yordamida tolani ulash: 1 - vtulka; 2 - yopishtiruvchi kompaundni quyish uchun teshik; 3, 4 – tola.*



9.4-rasm. *Dumaloq ariechali plastina va V-turdagi forma yordamida tolani ulash: 1-tola; 2-ariqchalar; 3-plastina; 4-qopqoq.*

Ajralmaydigan optik ulashda optik tolalarni doimiy ulash, payvandlashdan keng foydalaniladi. Hozirda payvandlash qurilmalari, amaliyoti takomillashib bormoqda. Natijada payvandlashli ulash usuli qoʻllanilganda kiritiluvchi soʻnish qiymatlari bir modali va koʻp modali tolalar uchun 0,04-0,1 dB ni tashkil etadi.

Koʻp modali tolalarda payvandlashli ulash sifatiga taʼsir qiluvchi, tolni oʻziga bogʻliq boʻlgan omillar mavjud. Bu omillarga tola diametrlarini, sonli aperturalarini va sindirish koʻrsatkichlarini mos kelmasligi, oʻzakni qobiq markazida joylashmasligi kiradi.

Bir modali tolalarda (dispersiyasi siljimagan holda) payvandlash sifatiga taʼsir qiluvchi asosiy omil bu tolalarni moda maydoni diametrlarini mos kelmasligi hisoblanadi.

Shuningdek, boʻylama va burchakli siljishlar, oʻzakni ifloslanishi va deformatsiyasi ham payvandlash sifatiga taʼsir qiluvchi omillardir. Bu omillarni taʼsiri malakali texniklar, tola oxirlarini aniq markazlashtiruvchi avtomatik tenglashtiruvchi qurilmalarni va zamonaviy payvandlash qurilmalarni ishlatish hisobiga minimumga yetkazilishi mumkin

9.4. Toladagi optik signalni soʻnish koeffitsiyentini aniqlash

Optik signal tola orqali uzatilganda yorugʻlik toʻlqinlarining tola muhiti bilan chiziqli va nochiziqli oʻzaro taʼsiri natijasida signal quvvatining yoʻqolishidan optik signal soʻnadi. Ulardan asosiylari yorugʻlik nurining yutilishi va sochilishi hisoblanadi. Bunda soʻnishning oʻzgarish qonuni quyidagi umumiy koʻrinishga ega:

$$P = P_0 \exp(-\alpha L) . \quad (9.1)$$

bunda P_0 – tolaga kiritiladigan quvvat;

L – tola uzunligi;

A – soʻnish doimiysi yoki toladagi yoʻqotishlar.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. E. Udd, ed., *Fiber Optic Sensors: An Introduction for Engineers and Scientists*, Wiley, New York, 1991.
2. J. Dakin and B. Culshaw, *Optical Fiber Sensors: Principles and Components*, Vol. 1, Artech, Boston, 1988.
3. B. Culshaw and J. Dakin, *Optical Fiber Sensors: Systems and Applications*, Vol. 2, Artech, Norwood, MA, 1989.
4. T. G. Giallorenzi, J. A. Bucaro, A. Dandridge, G. H. Sigel, Jr., J. H. Cole, S. C. Rashleigh, and R. G. Priest, *Optical fiber sensor technology*, *IEEE J. Quant. Elec.*, QE-18, p. 626, 1982.
5. D. A. Krohn, *Fiber Optic Sensors: Fundamentals and Applications*, Instrument Society of America, Research Triangle Park, NC, 1988.
6. E. Udd, ed., *Fiber optic sensors*, *Proc. SPIE*, CR-44, 1992.
7. S. K. Yao and C. K. Asawa, *Fiber optical intensity sensors*, *IEEE J. Sel. Areas in Communication*, SAC-1,3, 1983.
8. N. Lagokos, L. Litovitz, P. Macedo, and R. Mohr, *Multi-mode optical fiber displacement sensor*, *Appl. Opt.*, 20, p. 167, 1981.
9. E. Udd, ed., *Fly-by-light*, *Proc. SPIE*, 2295, 1994.
10. K. Fritsch, *Digital angular position sensor using wavelength division multiplexing*, *Proc. SPIE*, 1169, p. 453, 1989.
11. K. Fritsch and G. Beheim, *Wavelength division multiplexed digital optical position transducer*, *Opt. Lett.*, 11, p. 1, 1986.
12. D. Varshneya and W. L. Glomb, *Applications of time and wavelength division multiplexing to digital optical code plates*, *Proc. SPIE*, 838, p. 210, 1987.
13. J. W. Snow, *A fiber optic fluid level sensor: Practical considerations*, *Proc. SPIE*, 954, p. 88, 1983.
14. T. E. Clark and M. W. Burrell, *Thermally switched coupler*, *Proc. SPIE*, 986, p. 164, 1988.
15. Y. F. Li and J. W. Lit, *Temperature effects of a multimode biconical fiber coupler*, *Appl. Opt.*, 25, p. 1765, 1986.
16. Y. Murakami and S. Sudo, *Coupling characteristics measurements between curved waveguides using a two core fiber*

coupler, *Appl. Opt.*, 20, p. 417, 1981. Copyright 2002 by Marcel Dekker. All Rights Reserved.

17. D. A. Nolan, P. E. Blaszyk, and E. Udd, Optical fibers, in *Fiber Optic Sensors: An Introduction for Engineers and Scientists*, Eric Udd, ed., Wiley, New York, 1991.

18. J. W. Berthold, W. L. Ghering, and D. Varshneya, Design and characterization of a high temperature, fiber optic pressure transducer, *IEEE J. Lightwave Tech.*, LT-5, p. 1, 1987.

19. D. R. Miers, D. Raj, and J. W. Berthold, Design and characterization of fiberoptic accelerometers, *Proc. SPIE*, 838, p. 314, 1987.

20. W. B. Spillman and R. L. Gravel, Moving fiber optic hydrophone, *Optics Lett.*, 5, p. 30, 1980.

21. E. Udd and P. M. Turek, Single mode fiber optic vibration sensor, *Proc. SPIE*, 566, p. 135, 1985.

22. D. A. Christensen and J. T. Ives, Fiberoptic temperature probe using a semiconductor sensor, *Proc. NATO Advanced Studies Institute*, Dordrecht, The Netherlands, p. 361, 1987.

23. S. D. Schwab and R. L. Levy, In-service characterization of composite matrices with an embedded fluorescence optrode sensor, *Proc. SPIE*, 1170, p. 230, 1989.

24. K. T. V. Gratten, R. K. Selli, and A. W. Palmer, A miniature fluorescence referenced glass absorption thermometer, *Proc. 4th Intl. Conf. Optical Fiber Sensors*, Tokyo, p. 315, 1986.

25. W. W. Morey, G. Meltz, and W. H. Glenn, Bragg-grating temperature and strain sensors, *Proc. Optical Fiber Sensors, '89*, Springer-Verlag, Berlin, p. 526, 1989.

26. G. A. Ball, G. Meltz, and W. W. Morey, Polarimetric heterodyning Bragg-grating fiber laser, *Optics Lett.*, 18, p. 1976, 1993.

27. J. R. Dunphy, G. Meltz, F. P. Lamm, and W. W. Morey, Multi-function, distributed optical fiber sensor for composite cure and response monitoring, *Proc. SPIE*, 1370, p. 116, 1990.

28. W. W. Morey, Distributed fiber grating sensors, *Proc. 7th Optical Fiber Sensor Conf.*, IREE Australia, Sydney, p. 285, 1990.

29. A. D. Kersey, T. A. Berkoff, and W. W. Morey, Fiber-grating based strain sensor with phase sensitive detection, Proc. SPIE, 1777, p. 61, 1992.

30. D. A. Jackson, A. B. Lobo Ribeiro, L. Reekie, and J. L. Archambault, Simple multiplexing scheme for a fiber optic grating sensor network, Optics Lett., 18, p. 1192, 1993.

31. E. W. Saaski, J. C. Hartl, G. L. Mitchell, R. A. Wolthuis, and M. A. Afromowitz, A family of fiber optic sensor using cavity resonator microshifts, Proc. 4th Intl. Conf. Optical Fiber Sensors, Tokyo, 1986.

32. C. E. Lee and H. F. Taylor, Interferometric optical fiber sensors using internal mirrors, Electronic Lett., 24, p. 193, 1988.

33. C. E. Lee and H. F. Taylor Interferometric fiber optic temperature sensor using a low coherence light source, Proc. SPIE, 1370, p. 356, 1990.

34. Private communication, Elric Saaski, Research International, Woodinville, WA.

35. H. Lefevre, The Fiber Optic Gyroscope, Artech, Norwood, MA, 1993.

36. W. K. Burns, ed., Optical Fiber Rotation Sensing, Academic Press, San Diego, 1994.

37. R. B. Smith, ed., Selected Papers on Fiber Optic Gyroscopes, SPIE Milestone Series, MS 8, 1989. Copyright 2002 by Marcel Dekker. All Rights Reserved.

38. S. Ezekial and E. Udd, ed., Fiber optic gyros: 15th anniversary conference, Proc. SPIE, 1585, 1991.

39. R. J. Michal, E. Udd, and J. P. Theriault, Derivative fiber-optic sensors based on the phase nulling optical gyro, Proc. SPIE, 719, 1986.

40. E. Udd, R. J. Michal, J. P. Theriault, R. F. Cahill, High accuracy light source wavelength and optical fiber dispersion measurements using the Sanyak interferometer, Proc. 7th Optical Fiber Sensors Conf., IREE Australia, Sydney, p. 329, 1990.

41. J. P. Dakin, D. A. J. Pearce, A. P. Strong, and C. A. Wade, A novel distributed optical fiber sensing system enabling the location

of disturbances in a Sanyak loop interferometer, Proc. SPIE, 838, p. 325, 1987.

42. E. Udd, Sanyak distributed sensor concepts, Proc. SPIE, 1586, p. 46, 1991.

43. A. Dandridge, Fiber optic sensors based on the Maxa-Zehnder and Maykelson interferometers, in *Fiber Optic Sensors: An Introduction for Engineers and Scientists*, Eric Udd, ed., Wiley, New York, 1991. 44. F. Bucholtz, D. M. Dagenais, and K. P. Koo, High frequency fiber-optic magnetometer with 70 ft per square root Hertz resolution, *Electronics Lett.*, 25, p. 1719, 1989.

44. A. D. Kersey, Distributed and multiplexed fiber optic sensors, in *Fiber Optic Sensors: An Introduction for Engineers and Scientists*, Eric Udd, ed., Wiley, New York, 1991.

45. O. S. Wolfbeis and P. Greguss, eds., *Biochemical and medical sensors*, Proc. SPIE, 2085, 1993.

46. A. Katzir, ed., *Optical fibers in medicine VIII*, Proc. SPIE, 1893, 1993.

47. F. P. Milanovich, ed., *Fiber optic sensors in medical diagnostics*, Proc. SPIE, 1886, 1993.

48. R. A. Lieberman, ed., *Chemical, biochemical, and environmental fiber sensors V*, Proc. SPIE, 1993.

49. E. Udd, Fiber optic smart structures, in *Fiber Optic Sensors: An Introduction for Engineers and Scientists*, Wiley, New York, 1991.

50. R. Clauss and E. Udd, eds., *Fiber optic smart structures and skins IV*, Proc. SPIE, 1588, 1991.

51. J. S. Sirkis, ed., *Smart sensing, processing and instrumentation*, Proc. SPIE, 2191, 1994.

52. E. Udd, ed., *Fiber Optic Smart Structures*, Wiley, New York, 1995.

53. C. Fabry and A. Perot, *Ann. Chem. Phys.* 16 p. 115, 1899.

54. C. E. Lee and H. F. Taylor, Sensors for smart structures based upon the Fabry–Perot interferometer, in *Fiber Optic Smart Structures*, Eric Udd, ed., Wiley, New York, pp. 249–269, 1995.

55. S. J. Petuchowski, T. G. Giallorenzi, and S. K. Sheem, A sensitive fiber-optic Fabry–Perot interferometer, *IEEE J. Quantum Electron*, 17, p. 2168, 1981.

56. T. Yoshino, K. Kurosawa, and T. Ose, Fiber-optic Fabry–Perot interferometer and its sensor applications, *IEEE J. Quantum Electron*, 18, p. 1624, 1982.

57. A. D. Kersey, D. A. Jackson, and M. Corke, A simple fibre Fabry–Perot sensor, *Opt. Commun.*, 45, p. 71, 1983.

58. P. A. Leilabady and M. Corke, All-fiber-optic remote sensing of temperature employing interferometric techniques, *Opt. Lett.*, 12, p. 773, 1987.

59. F. Farahi, T. P. Newson, P. A. Leilabady, J. D. C. Jones, and D. A. Jackson, A multiplexed remote fiber optic Fabry–Perot sensing system, *Int. J. Optoelectronics*, 3, p. 79, 1988.

60. C. E. Lee and H. F. Taylor, Interferometric optical fibre sensors using internal mirrors, *Electron. Lett.*, 24, p. 193, 1988.

61. M. N. Inci, S. R. Kidd, J. S. Barton, and J. D. C. Jones, Fabrication of singlemode fibre optic Fabry–Perot interferometers using fusion spliced titanium dioxide optical coatings, *Meas. Sci. Tech.*, 3, p. 678, 1992.

62. T. Valis, D. Hogg, and R. M. Measures, Fiber optic Fabry–Perot strain gauge, *IEEE Photonics Tech. Lett.*, 2, p. 227, 1990.

63. C. E. Lee, W. N. Gibler, R. A. Atkins, and H. F. Taylor, In-line fiber Fabry–Perot interferometer with high-reflectance internal mirrors, *J. Lightwave Tech.*, 10, p. 1376, 1992.

64. K. P. Koo, M. LeBlanc, T. E. Tsai, and S. T. Vohra, Fiber-chirped grating Fabry–Perot sensor with multiple-wavelength-addressable free-spectral ranges, *IEEE Photon, Tech. Lett.*, 10, p. 1006, 1998.

65. Y. J. Rao, M. R. Cooper, D. A. Jackson, C. N. Pannell, and L. Reekie, Absolute strain measurement using an in-fibre-Bragg-grating-based Fabry–Perot sensor, *Electron. Lett.*, 36, p. 708, 2000.

66. R. A. Wolthuis, G. L. Mitchell, E. Saaski, J. C. Hartl, and M. A. Afromowitz, Development of medical pressure and temperature sensors employing optical spectrum modulation, *IEEE Trans. Biomed. Engineering*, 38, p. 974, 1991.

67. G. L. Mitchell, Intensity-based and Fabry–Perot interferometer sensors, in *Fiber optic sensors: An Introduction for Engineers and Scientists*, E. Udd, ed., Wiley, New York, p. 139, 1991.

68. F. Mitschke, Fiber optic sensor for humidity, *Opt. Lett.*, 14, p. 967, 1989. Copyright 2002 by Marcel Dekker. All Rights Reserved.

69. P. C. Beard and T. N. Mills, Miniature optical fibre ultrasonic hydrophone using a Fabry–Perot polymer film interferometer, *Electron. Lett.*, 33, p. 801, 1997. Also P. C. Beard and T. C. Mills, Extrinsic optical-fiber ultrasound sensor using a thin polymer film as low-finesse Fabry–Perot interferometer, *Appl. Opt.*, 35, p. 663, 1996.

70. K. A. Murphy, M. F. Gunther, A. M. Vengsarkar, and R. O. Claus, Quadrature phase-shifted, extrinsic Fabry–Perot optical fiber sensors, *Opt. Lett.*, 16, p. 273, 1991.

71. J. Sirkis, T. A. Berkoff, R. T. Jones, H. Singh, A. D. Kersey, E. J. Friebele, and M. A. Putnam, In-line fiber etalon (ILFE) fiber optic strain sensors, *J. Lightwave Tech.*, 13, p. 1256, 1995.

72. R. A. Atkins, J. H. Gardner, W. H. Gibler, C. E. Lee, M. D. Oakland, M. O. Spears, V. P. Swenson, H. F. Taylor, J. J. McCoy, and G. Beshouri, Fiber optic pressure sensors for internal combustion engines, *Applied Optics*, 33, p. 1315, 1994.

73. J. F. Dorigi, S. Krishnaswamy, and J. D. Achenbach, Stabilization of an embedded fiber optic Fabry–Perot sensor for ultrasound detection, *IEEE Trans. Ultrason., Ferroelectron., and Freq. Contr.*, 42, p. 820, 1995.

74. R. Sadkowski, C. E. Lee, and H. F. Taylor, Multiplexed fiber-optic sensors with digital signal processing, *Appl. Opt.*, 34, p. 5861, 1995.

75. J. Potter, A. Ezbiri, and R. P. Tatam, A broad band signal processing technique for miniature low-finesse Fabri-Pero interferometric sensors, *Opt. Commun.*, 140, p. 11, 1997.

76. N. Furstenau and M. Schmidt, Fiber-optic extrinsic Fabry–Perot interferometer vibration sensor with two-wavelength passive quadrature readout, *IEEE Trans. Instrumentation Measurement*, 47, p. 143, 1998.

77. M. Schmidt and N. Furstenau, Fiber-optic extrinsic Fabry–Perot interferometer sensors with three-wavelength digital phase demodulation, *Opt. Lett.*, 24, p. 599, 1999.

78. Y. L. Lo, J. S. Sirkis, and C. C. Wang, Passive signal processing of in-line fiber etalon sensors for high strain-rate loading, *J. Lightwave Tech.*, 15, p. 1578, 1997.

79. G. Beheim, Remote displacement measurement using a passive interferometer with a fiber optic link, *Appl. Opt.*, 24, p. 2335, 1985.

80. H. S. Choi, C. E. Lee, and H. F. Taylor, High-performance fiber optic temperature sensor using low-coherence interferometry, *Opt. Lett.*, 22, p. 1814, 1997.

81. C. E. Lee and H. F. Taylor, Fiber-optic Fabry–Perot temperature sensor using a low-coherence light source, *J. Lightwave Tech.*, 9, p. 129, 1991.

82. S. Chen, K. T. V. Grattan, B. T. Meggitt, and A. W. Palmer, Instantaneous fringe-order identification using dual broadband sources with widely spaced wavelengths, *Electron. Lett.*, 29, p. 334, 1993.

83. Y. J. Rao, Y. N. Ning, and D. A. Jackson, Synthesized source for white-light systems, *Opt. Lett.*, 18, p. 462, 1993.

84. V. Bhatia, M. B. Sen, K. A. Murphy, and R. O. Claus, Wavelength-tracked white light interferometry for highly sensitive strain and temperature measurements, *Electron. Lett.*, 32, p. 248, 1996. Copyright 2002 by Marcel Dekker. All Rights Reserved.

85. Y. J. Rao and D. A. Jackson, A prototype multiplexing system for use with a large number of fiber-optic-based extrinsic Fabry–Perot sensors exploiting coherence interrogation, *Proc. SPIE*, 2507, p. 90, 1995.

86. C. M. Davis, C. J. Zarobila, and J. D. Rand, Fiber-optic temperature sensors for microwave environments, *Proc. SPIE*, 904, p. 114, 1988.

87. M. Singh, C. J. Tuck, and G. F. Fernando, Multiplexed optical fiber Fabry–Perot sensors for strain metrology, *Smart Mater. Struct.*, 8, p. 549, 1999.

88. S. C. Kaddu, S. F. Collins, and D. J. Booth, Multiplexed intrinsic optical fibre Fabry–Perot temperature and strain sensors addressed using white light interferometry, *Meas. Sci. Tech.*, 10, p. 416, 1999.

89. V. Bhatia, K. A. Murphy, R. O. Claus, M. E. Jones, J. L. Grace, T. A. Tran, and J. A. Greene, Optical fibre based absolute extrinsic Fabry–Perot interferometric sensing system, *Meas. Sci. Tech.*, 7, p. 58, 1996.

90. C. E. Lee, R. A. Atkins, and H. F. Taylor, Performance of fiber-optic temperature sensor from 200 to 1050+ C, *Opt. Lett.*, 13, p. 1038, 1988.

91. C. E. Lee, H. F. Taylor, A. M. Markus, and E. Udd, Optical-fiber Fabry–Perot embedded sensor, *Opt. Lett.*, 14, p. 1225, 1989.

92. T. Valis, D. Hogg, and R. M. Measures, Composite material embedded fiberoptic Fabry–Perot strain gauge, *Proc. SPIE*, 1370, p. 154, 1990.

93. S. W. Case, J. J. Lesko, B. R. Fogg, and G. P. Carman, Embedded extrinsic Fabry–Perot fiber optic strain rosette sensors, *J. Intelligent Mat. Sys. Struct.*, 5, p. 412, 1994.

94. C. C. Chang and J. L. Sirkis, Design of fiber optic sensor systems for low velocity impact detection, *Smart Mater. Struct.*, 7, p. 166, 1997.

95. C. E. Lee, W. N. Gibler, R. A. Atkins, J. J. Alcoz, H. F. Taylor, and K. S. Kim, Fiber optic Fabry–Perot sensors embedded in metal and in a composite, 8th Optical Fiber Sensors Conf., Monterey, CA, Jan. 1992.

96. C. E. Lee, W. N. Gibler, R. A. Atkins, J. J. Alcoz, and H. F. Taylor, Metalembded fiber optic Fabry–Perot sensors, *Opt. Lett.*, 16, p. 1990, 1991.

97. S. F. Masri, M. S. Agbabian, A. M. Abdel-Ghaffar, M. Higazy, R. O. Claus, and M. J. deVries, Experimental study of embedded fiber-optic strain gauges in concrete structures, *J. Eng. Mech.*, 120, p. 1696, 1994.

98. Y. J. Rao and D. A. Jackson, Recent progress in fibre optic low-coherence interferometry, *Meas. Sci. Tech.*, 7, p. 981, 1996.

99. W. Lee, J. Lee, C. Henderson, H. F. Taylor, R. James, C. E. Lee, V. Swenson, R. A. Atkins, and W. G. Gemeiner, Railroad bridge instrumentation with fiber optic sensors, *Appl. Opt.*, 38, p. 1110, 1999.
100. E. J. Friebele, M. A. Putnam, H. J. Patrick, A. D. Kersey, A. S. Greenblatt, G. P. Ruthven, M. H. Krim, and K. S. Gottschalck, Ultra-high-sensitivity fiberoptic strain and temperature sensor, *Opt. Lett.*, 23, p. 222, 1998.
101. K. A. Murphy, C. E. Kobb, A. J. Plante, S. Desu, and R. O. Claus, High temperature sensing applications of silica and sapphire optical fibers, *Proc. SPIE*, 1370, p. 169, 1990.
102. C. E. Lee and H. F. Taylor, A fiber optic pressure sensor for internal combustion engines, *Sensors*, 15, 3, p. 20, Mar. 1998. Copyright 2002 by Marcel Dekker. All Rights Reserved.
103. Y. J. Rao and D. A. Jackson, A prototype fibre-optic-based Fizeau medical pressure and temperature sensor system using coherence reading, *Meas. Sci. Tech.*, 5, p. 741, 1994.
104. J. Castracane, L. P. Clow, and G. Seidler, Optical multi-channel transducer array for wind tunnel applications, *Opt. Eng.*, 35, p. 2627, 1996.
105. C. Zhou and S. V. Letcher, Fiber optic microphone based on a combination of Fabry–Perot interferometry and intensity modulation, *J. Acoust. Soc. Amer.*, 98, p. 1042, 1995.
106. T. W. Kao and H. F. Taylor, High-sensitivity intrinsic fiber-optic Fabry–Perot pressure sensor, *Opt. Lett.*, 21, p. 615, 1996.
107. J. J. Alcoz, C. E. Lee, and H. F. Taylor, Embedded fiber-optic Fabry–Perot ultrasound sensor, *IEEE Trans. Ultrasonics, Ferroelectrics, and Freq. Control*, 37, p. 302, 1990.
108. T. A. Tran, W. V. Miller III, K. A. Murphy, A. M. Vengsarker, and R. O. Claus, *Proc. SPIE*, 1584, p. 178, 1991.
109. L. A. Ferreira, A. B. L. Ribeiro, J. L. Santos, and F. Farahi, Simultaneous displacement and temperature sensing using a white light interrogated low finesse cavity in line with a fiber Bragg grating, *Smart Mater. Struct.*, 7, p. 189, 1998.

110. T. Li, A. Wang, K. Murphy, and R. Claus, White-light scanning fiber Maykelson interferometer for absolute position-distance measurement, *Opt. Lett.*, 20, p. 785, 1995.

111. M. D. Barrett, E. H. Peterson, and J. W. Grant, Extrinsic Fabry–Perot interferometer for measuring the stiffness of ciliary bundles on hair cells, *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, 46, p. 331, 1999.

112. K. D. Oh, J. Ranade, V. Arya, A. Wang, and R. O. Claus, Optical fiber Fabry–Perot interferometric sensor for magnetic field measurement, *IEEE Photon. Tech. Lett.*, 9, p. 797, 1997.

113. J. X. Fang and H. F. Taylor, Fiberopic Fabry–Perot flow sensor, *Microwave Opt. Tech. Lett.*, 18, p. 209, 1998

114. I. E. Hecht and A. Zajac, *Optics*, Addison-Wesley, 1974.

115. Y. Yariv, *Quantum Electronics*, 2nd ed., Wiley, New York, 1975.

116. M. Born and E. Wolf, *Principles of Optics*, 6th ed., Pergamon, Oxford, 1986.

117. R. M. A. Azzam and N. M. Bashara, *Ellipsometry and Polarised Light*, NorthHolland Elsevier, Amsterdam, 1977.

118. R. B. Dyott, *Elliptical Fiber Waveguides*, Artech House, 1995.

119. R. B. Dyott, J. R. Cozens, and D. G. Morris, Preservation of polarization in optical fiber waveguides with elliptical cores, *Electron. Lett.*, 15, pp. 380–382, 1979.

120. V. Ramaswamy, R. H. Stolen, M. Divino, and W. Pleibel, Bi-refringence in elliptically clad borosilicate single mode fibers, *Appl. Opt.*, 18, pp. 40–84, 1979.

121. S. C. Rashleigh and M. J. Marrone, Polarisation holding in high bi-refringence fiber, *Electron. Lett.*, 18, pp. 326–327, 1982.

122. R. D. Birch, M. P. Varnham, D. N. Payne, and E. J. Tarbax, Fabrication of polarization- maintaining fibers using gas phase etching, *Electron. Lett.*, 18, pp. 1036–1038, 1982.

123. N. Shibata, Y. Sasaki, K. Okamoto, and T. Hosaka, Fabrication of polarization maintaining and absorption reducing fibers, *J. Lightwave Technol.*, LT-1, pp. 38–43, 1983.

124. B. K. Kim, S. H. Yun, I. K. Huang, and B. Y. Kim, Non-linear strain response of the two mode fiber optic interferometer, *Opt. Lett.*, 21, pp. 934–936, 1996.

125. C. D. Butter and G. B. Hocker, Fiber optics strain guage, *Appl. Opt.*, 17, pp. 2867–2869, 1978.

126. G. B. Hocker, Fiber-optic sensing of pressure and temperature, *Appl. Opt.*, 18, pp. 1445–1447, 1979.

127. W. Eickhoff, Temperature sensing by mode–mode interference in bi-refrignce optical fibers, *Opt. Lett.*, 6, pp. 204–206, 1981.

128. T. A. Eftimov and W. J. Bock, Sensing with a LP01–LP02 intermodal interferometer, *J. Lightwave Technol.*, LT-11, pp. 2150–2156, 1993.

129. B. Y. Kim, J. N. Blake, S. Y. Huang, and H. J. Shaw, Use of highly elliptical core fibers for two mode fiber devices, *Opt. Lett.*, 12, pp. 729–731, 1987.

130. A. M. Vengsarkar, W. C. Michie, L. Jankovic, B. Culshaw, and R. O. Claus, Fiber-optic dual-technique sensor for simultaneous measurement of strain and temperature, *J. Lightwave Technol.*, LT-12, pp. 170–177, 1994.

131. G. Thursby, W. C. Michie, D. Walsh, M. Konstantaki, and B. Culshaw, Simultaneous recovery of strain and temperature fields by the use of two-moded polarimetry with an in-line mode splitter=analyzer, *Opt. Lett.*, 20, pp. 1919–1921, 1995.

132. G. Thursby, D. Walsh, W. C. Michie, and B. Culshaw, An in-line mode splitter applied to a dual polarimeter in elliptical core fiber, *Proc. SPIE*, 2360, 10th Intl. Copyright 2002 by Marcel Dekker. All Rights Reserved. *Conf. Optical Fiber Sensors*, B. Culshaw and J. D. C. Jones, eds., pp. 339–342, 1994.

133. W. Craig Michie, B. Culshaw, C. Thursby, W. Jin, and M. Konstantaki, Optical fiber sensors for temperature and strain measurement, *Proc. SPIE Smart Structures*, San Diego, 1996.

134. W. Jin, W. C. Michie, G. Thursby, M. Konstantaki, and B. Culshaw, Geometric representation of simultaneous measurement of temperature, *Optical Engineering*, 36, 8, pp. 2272–2278, 1997.

135. W. Jin, W. C. Michie, G. Thursby, M. Konstantaki, and B. Culshaw, Simultaneous measurement of temperature and strain: Error analysis, *Optical Engineering*, 36, 2, pp. 506–609, Feb. 1997.

136. I. P. Giles, M. Mondanos, R. Badcock, and P. A. Lloyd, Distributed optical fiber-based damage detection in Composites, *Proc. SPIE Conf. Sensory Phenomena and Measurement Instrumentation for Smart Structures and Materials*, 3670, pp. 311–321, 1999.

137. M. Mondanos, P. A. Lloyd, I. P. Giles, R. Badcock, and K. Weir, Damage detection in composites using polarimetric low coherence polarimetry, accepted for *Optical Fiber Sensors*.

138. J. J. Clecot, Guerin, M. Lequime, and M. Rioual, White light fiber optic sensor network for the thermal monitoring of the stator in a nuclear power plant alternator, *Proc. OFS9, Florence, Italy*, pp. 271–274, 1993.

139. M. N. Charasse, M. Turpin, and J. P. le Pesant, Dynamic pressure sensing with side hole bi-refrangent optical fiber, *Opt. Lett.*, 16, pp. 1043–1045, 1991.

140. Y. N. Ning, B. C. B. Chu, and D. A. Jackson, *Rev. Sci. Instrument.*, 63, pp. 57–71, 1992.

141. Y. N. Ning, Z. P. Wang, A. W. Palmer, and K. T. V. Grattan, Recent progress in optical current sensing techniques, *Rev. Sci. Instrument.*, 66, 5, pp. 3097–3111, 1995.

142. G. W. Day, K. B. Rochford, and A. H. Rose, Fundamentals and problems of fiber current sensors, *Optical Fiber Sensors*, 11, pp. 124–128, 1996.

143. M. Takahashi, H. Noda, K. Terai, S. Ikuta, and Y. Mizutani, Optical current sensor for gas insulated switchgear using silica optical fiber, *IEEE Trans. Power Delivery*, 12, 4, pp. 1422–1428, Oct. 1997.

144. K. Terai, S. Ikuta, Y. Mizutani, M. Takahashi, and H. Noda, Practical optical current transformer for gas insulated switchgear, *Proc. 12th Intl. Conf. Optical Fiber Sensors*, Williamsburg, VA.

145. A. H. Rose, Z. B. Ken, and G. Day, Improved annealing techniques for optical fibers, Proc. OFS-10, Glasgow, pp. 306–311, 1994.

146. Bohnert, H. Brandle, and G. Frosio, Field test of interferometric optical fiber high voltage and current sensors, Proc. OFS-10, 1994.

147. J. Barlowe and D. N. Payne, Production of single mode fibers with negligible intrinsic bi-refringence, Electronic Lett., 17, p. 725, 1986.

148. T. Bosselmann, Magneto- and electro-optic transformers meet expectations of the electricity supply industry, Proc. 12th Intl. Conf. Optical Fiber Sensors, 1997. Copyright 2002 by Marcel Dekker. All Rights Reserved.

149. T. Bosselmann, Comparison of 4 different optical fiber coil concepts for high voltage magneto-optic current transducers, Proc. 9th Intl. Conf. Optical Fiber Sensors, Florence, Italy, 1993.

150. K. Kurosawa, K. Oshida, and O. Sano, Optical current sensor using flint glass fiber, Proc. OFS-11, pp. 147–148, 1996.

151. H. Schwarz and M. Hudash, Optical current transformers — A field trial test in a 380 kV system, ABB Rev., 3, pp. 12–18, 1998.

152. T. Bosslemann and P. Menke, Intrinsic temperature compensation of magneto-optic ac current transformers with glass ring sensor head, Proc. 10th Intl. Conf. Optical Fiber Sensors, pp. 20–24, 1994.

153. N. Itoh, H. Minemoto, D. Ishiko, and S. Ishizuka, Commercial current sensor activity in Japan, Proc. 12th Intl. Conf. Optical Fiber Sensors, Japan, 1997.

154. P. Niewczas, W. I. Madden, W. C. Michie, A. Cruden, and J. R. McDonald, Progress towards a protection class optical current sensor, IEEE Power Engineering Rev., 20, 2, pp. 57–59, Feb. 2000.

155. P. Niewczas, A. Cruden, W. C. Michie, W. I. Madden, and J. R. McDonald, Error analysis of an optical current transducer operating with a digital signal processing system, IMTC99 Special Issue of the IEEE Trans. Instrument. Measurement, to be published in April 2000.

156. A. Cruden, I. Madden, W. C. Michie, P. Niewczas, J. R. McDonald, and I. Andonovic, Optical current measurement system for high voltage applications, International Measurement Committee (IMEKO), Measurement, 24, 2, pp. 97–102, 1998.

157. W. I. Madden, W. C. Michie, A. Cruden, P. Niewczas, J. R. McDonald, and I. Andonovic, Temperature compensation for optical current sensors, Optical Engineering, 38, 10, pp. 1699–1707, 1999.

158. P. Niewczas, A. Cruden, W. C. Michie, W. I. Madden, J. R. McDonald, and I. Andonovic, A vibration compensation technique for an optical current transducer, Optical Engineering, 38, 10, pp. 1708–1714, 1999.

159. A. Cruden, Z. J. Richardson, J. R. McDonald, and I. Andonovic, Optical devices for current and voltage measurement, IEEE Trans. Power Delivery, 10, 3, pp. 1217–1223, July 1995.

160. N. P. Barnes and L. B. Petway, Variation of the Verdet constant with temperature of terbium aluminium garnet, J. Optical Soc. America B, 9, 10, pp. 1912–1916, 1992.

161. N. Jaegerm and F. Rahmatian, Integrated optics pockels cell as a high voltage sensor, Proc. OFS-8, pp. 153–157, 1991. 50. W. C. Michie, A. Cruden, P. Niewczas, W. I. Madden, J. R. McDonald, and A. Kinson, Transient voltage instability investigation using optical voltage sensor, PE Rev. Lett. IEEE Power Engineering Rev., pp. 55–56, Feb.1999.

MUNDARIJA

MUQADDIMA.....	3
1-BOB. OPTIK NURTOLAGA KIRISH	4
1.1. Optik nurtola to‘g‘risida umumiy ma‘lumotlar.....	4
1.2. Optik nurtolalarda moda tushunchasi.....	8
1.3. Optik nurtolalarning klassifikatsiyasi va ularning parametrlarini solishtirish.....	17
2-BOB. OPTIK NURTOLA XARAKTERISTIKALARINI AMALIY O‘RGANISH	24
2.1. Nurtolalarning effektiv sindirish ko‘rsatkichi xarakteristikasi.....	24
2.2. Bir va ko‘p modali optik nurtolalarda dispersiya.....	33
2.3. Nurtolalardagi so‘nish koeffitsentini aniqlash.....	40
	44
3-BOB. OPTIK TOLALI UZATISHGA KIRISH	
3.1. Tarmoqli kengligi talablari.....	44
3.2. Optik tolali uzatish tizimining modeli.....	45
3.2.1. Optik tola orqali signal uzatish uchun ishlatiladigan to‘lqin uzunligi diapazonlari.....	48
3.3. Uzatish muhitining optik-tolali yorug‘lik o‘tkazgich.	54
3.3.1. Yorug‘lik konstruksiyasi.....	54
3.3.2. Optik tolali yorug‘lik qo‘llanmasi orqali yorug‘lik qanday tarqalashi.....	55
	58
4-BOB. OPTIK TOLALI KABEL	
4.1. Optik tolalar turlari.....	58
4.1.1. Yadro diametrini aniqlash.....	58
4.1.2. Uch turdagi optik tolalar.....	59
4.2. Optik tola orqali turli xil modlarning tarqalishi.....	61
4.3. Mikroegilishlar va makroegilishlar.....	63
4.4. Kabel konstruksiyasi.....	64
4.4.1. Optik tola diametri.....	64

4.4.2.	Qattiq tampon qoplamasi yoki bo'shashgan tampon trubkasi.....	65
4.4.3.	Kuchli elementlari.....	68
4.5.	Optik tolaning xususiyatlari.....	72
4.5.1.	Optik xususiyatlar.....	72
4.5.2.	Mexanik xususiyatlar.....	73
4.5.3.	Optik tolali modullar.....	74
4.6.	Tekislangan yoki profilli qoplama indeks tolasi.....	75
4.7.	Yuqori sifatli optik tolaning o'ziga xos xususiyatlari..	77

5-BOB. OPTIK ULAGICHLAR, AKTIV VA PASSIV

OPTIK QURILMALAR 79

5.1.	Optik ulagichlar, ehtiyot qismlar va passiv optik qurilmalar.....	79
5.2.	Asosiy ta'riflar.....	80
5.2.1.	Elementning tarmoqlanuvchi oqimi.....	80
5.2.2.	Optik ajratgich.....	80
5.2.3.	Attenuator.....	80
5.2.4.	Optik tolali filtr.....	81
5.2.5.	Optik tolali izolyator.....	81
5.2.6.	Optik tolali terminator.....	81
5.2.7.	Optik tolali kalit.....	81
5.2.8.	Passiv (xromatik) dispersiya kompensatori.....	81
5.2.9.	Optik tolali ulagich (optik ulagich).....	81
5.2.10.	Optik tolali ulanish.....	82

6-BOB. OPTIK TOLA SENSOR (DATCHIK) LARI 83

6.1.	Optik tolali sensorlarning umumiy ko'rinishi.....	83
6.2.	Asosiy tushunchalar va asosli intensivlik optik tolali sensorlar.....	84
6.3.	Spektral asosli tolali-optik sensorlar.....	96
6.4.	Interferometrik optik tolali sensorlar.....	95
6.4.1.	Sanyak interferometri.....	95
6.4.2.	Maxa-Zehnder va Maykelson interferometrlari.....	111
6.5.	Multiplekslash va tarqalgan zondlash.....	119
6.6.	Qo'llanilishi.....	124

7-BOB. FABRI-PERO INTERFEROMETRI ASOSIDAGI OPTIK-TOLALI SENSORLAR	131
7.1. Fabri-Pero interferometri asosidagi tolali-optik sensorlar.....	131
7.2. Fabri-Pero interferometr nazariyasi.....	132
7.3. Tolali sensor konfiguratsiyasi.....	135
7.3.1. Yopiq optik tolali Fabri-Pero interferometr (FFPI) sensorlari.....	136
7.3.2. Tashqi tolali Fabri – Pero interferometri (EFPI).....	137
7.4. Optik nazorat usullari va multiplekslash usullari.....	138
7.4.1. So‘roq qilish usullari.....	140
7.4.2. Multiplekslash usullari.....	146
7.5. Integratli sensorlar.....	149
7.6. Qo‘llanilishi.....	153
7.6.1. Haroratni o‘lchash.....	153
7.6.2. Deformatsiyani o‘lchash.....	155
7.6.3. Bosimni o‘lchash.....	159
7.6.4. Boshqa ilovalar.....	163
7.7. Xulosalar.....	164
8-BOB. POLARIMETRIK TOLALI SENSORLAR	166
8.1. Polarimetrik tolali sensorlar.....	166
8.2. Yoruglik to‘lqinlarining tarqalishi.....	166
8.2.1. Jons matritsasi algebrasi.....	171
8.2.2. Optik retarderlar.....	173
8.2.3. Ikkitomonlama optik tola.....	174
8.3. Polyarimetrik sensorlar.....	177
8.3.1. Haroratni o‘lchash.....	180
8.3.2. O‘zgartirilgan sensorlar.....	181
8.3.3. Kelishuvchanlik.....	184
8.3.4. Kogerent multipleksli sensorlar.....	186
8.3.5. Kogerent multipleks zarbani aniqlash.....	192
8.4. Optik tolani o‘lchash.....	195
8.4.1. Ishlash prinsipi.....	195
8.4.2. Kristallar asosidagi optik tok konvertorlari.....	202
8.5. Optik kuchlanish sensori.....	211

8.5.1. Polyarimetrik kuchlanish sensorlari.....	211
8.5.2. Optik tarmoqning beqarorligi diagnostikasi.....	215
8.6. Xulosalar.....	217
	218
9-BOB. OPTIK TOLALARNI ULASH	
9.1. Optik tolalarni ulash.....	218
9.2. Ajraladigan optik ulagichlarning tuzilishi.....	218
9.3. Optik tolalarni ajralmaydigan ulashlar.....	220
9.4. Toladagi optik signalni so‘nish koeffitsiyentini aniqlash.....	221
Foydalanilgan adabiyotlar.....	222

N. A. AKBAROVA, N. S. ATADJANOVA

OPTIK TOLALI KOMMUNIKATSIYALAR

O'QUV QO'LLANMA

Toshkent – «Fan va texnologiyalar nashriyot-matbaa uyi» – 2023

Muharrir:	Sh. Kuserbayeva
Tex. muharrir:	Sh. Mirqosimova
Rassom:	U. Ortiqov
Kompyuterda sahifalovchi:	D. Bakirova



E-mail: tipografiyacent@mail.ru Tel: 97-450-11-14, 93-381-22-07.

Bosishga ruxsat etildi 27.01.2023.

Bichimi 60x84 ¹/₁₆. «Times New Roman» garniturasini.

Ofset bosma usulida bosildi.

Shartli bosma tabog'i 15,25. Nashriyot bosma tabog'i 15,0.

Tiraji 150. Buyurtma № 4.

«Fan va texnologiyalar nashriyot-matbaa uyi»

bosmaxonasida chop etildi.

Toshkent sh., Foziltepa ko'chasi, 22 b uy.