

**N. YUNUSOV, R. ISAYEV
G.X. MIRAZIMOVA**



OPTIK ALOQA ASOSLARI



621.3 (045)

0-62

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIV VA O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI

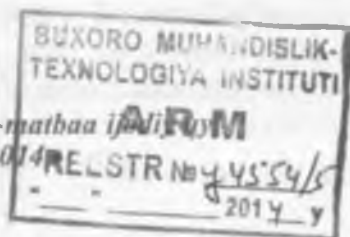
N. Yunusov, R. Isayev, G.X. Mirazimova

OPTIK ALOQA ASOSLARI

*O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi tomonidan
5311300 — «Telekommunikatsiyalar» bakalavriat yo'nalishi bo'yicha
ta'lim oluvchi talabalar uchun darslik sifatida tavsiya etilgan*

Cho'lpon nomidagi nashriyot-matbaa ijodiyoti

Toshkent — 2014



UO'K: 621.3(075)

KBK 32.811

O-62

I-78

Taqrizchilar:

Z.I. Azamatov — fizika-matematika fanlari doktori, professor;

I.R. Berganov — texnika fanlari nomzodi, dotsent.

I-78 **Optik aloqa asoslari / N. Yunusov [va boshq.]. O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi — T.: Cho'lpon nomidagi NMIU, 2014, 368 bet.**
ISBN 978-9943-05-684-8

Mazkur darslikda optik aloqaning qisqacha tarixi, uning so'nggi o'n yilliklar davomida jadal rivojlanishi va keng qo'llanishi sabablari, ochiq va tolali optik aloqa tizimlarining tuzilish prinsiplari, tolali optik aloqa tizimlarida ikki tomonlama aloqani tashkil etish, mazkur tizimlarning liniyaviy traktida axborot oqimini zichlashtirish va sinxronlash masalalariga oid asosiy ma'lumotlar bayon etildi. Optik aloqa tizimlarining asosiy funksional qurilmalari, ularda qo'llaniladigan aktiv va passiv elementlar — yorug'lik manbalari fotoqabulqilgichlar, optik kuchaytirgichlar, yorug'lik modulyatorlari, optik ulagichlar va tarmoqlagichlar, optik attenuator, optik filtr, izolyator va sirkulyatorlar, optik multipleksor va demultipleksorlar, optik kommutator va h.k.larning ish mexanizmlari, xarakteristika va parametrlari, qo'llanish xususiyatlari tizimli tarzda va batafsil ko'rib chiqiladi, bu elementlarni yaratish bo'yicha erishilgan yutuqlar bayon etiladi.

Ushbu darslik «Telekommunikatsiyalar» bakalavriatura yo'nalishi bo'yicha ta'lim oluvchi talabalar va muxanidis-texnik xodimlar uchun mo'ljallangan.

UO'K: 621.3(075)

KBK 37.811

ISBN 978-9943-05-684-8

© N. Yunusov va boshq., 2014

© Cho'lpon nomidagi NMIU, 2014

SO'ZBOSHI

«Axborot asri» deb nom olgan davrimizning o'ziga xos xususiyati shundaki, jamiyat hayotining turli jabhalariga, jumladan, iqtisodiy, siyosiy, ma'naviy-ma'rifiy sohalarga, fan, ta'lim, texnika va texnologiyalarning eng yangi yutuqlariga oid axborotlar oqimining tobora jadal sur'atlar bilan ortib borishi kuzatilmoqda. Chunonchi, tahlillarning ko'rsatishicha, jahon bo'yicha Internet resurslaridan foydalanishga bo'lgan ehtiyoj — har bir foydalanuvchiga to'g'ri keladigan axborotlar oqimining o'rtacha hajmi yiliga 8 marta ortmoqda. Bunday sharoitda u yoki bu mamlakatning rivoji undagi axborotlar zaxirasining salmog'i va bu zaxiradan foydalanilish samaradorligi bilan belgilanadi. Bir so'z bilan aytganda, bugungi kunda axborot almashinuvi jarayoni nafaqat muloqot vositasiga, balki, jamiyat taraqqiyotining harakatlantiruvchi kuchlaridan biriga aylandi.

Shu munosabat bilan axborotlar oqimini uzatish hajmi, tezligi va sifatini oshirish, aloqa xizmatlari turlarini kengaytirish imkonini beruvchi, nisbatan kam mehnat va moddiy ashyolar talab qiluvchi aloqa vositalarini yaratish va ulardan samarali foydalanish o'ta muhim ahamiyat kasb etadi. Hozirgi vaqtda jadal sur'atlar bilan rivojlanayotgan va tobora keng qo'llanish topayotgan optik aloqa tizimlari ana shunday aloqa vositalari sirasiga kiradi.

O'tgan asrning so'nggi o'n yillari davomida yorug'likning to'lqin va korpuskulyar tabiati bilan bog'liq fundamental xossalardan foydalanish, optoelektronika, integral optika, golografiya bo'yicha erishilgan yutuqlar, jumladan, yuqori samarali yarimo'tkazgichli yorug'lik manbalari — yorug'lik va lazer diodlarining, katta sezgirlikka ega bo'lgan, tezkor foto-qabulqilgichlar — fotodiodlar, ko'chkili fotodiodlar, yuqori darajadagi shaffof, kam yo'qotishli yorug'lik uzatkichlar — optik tolalarning yaratilishi aloqa tizimlarining yangi va istiqbolli yo'nalishi optik aloqaning paydo bo'lishi, jadal sur'atlar bilan rivojlanishi va keng qo'llanishiga olib keldi.

Optik aloqaning bir qator xususiyatlari uning telefon tarmoqlari, kabel televideniyesi, kosmik apparatlar, samolyot, suv usti va suv osti kemalarining bort aloqasi, elektron hisoblash mashinalar orasidagi ichki va tashqi aloqani tashkil etish, shuningdek, texnologik jarayonlarni boshqarish maqsadlarida keng qo'llanish topishiga olib keldi va u raqobatbardosh aloqa turlaridan biriga aylandi. Har qanday aloqa tizimi axborotni bir manzildan boshqa manzilga uzatish uchun xizmat qiladi. Aloqa tizimlarining barcha turlari ikki muhim omili axborot eltuvchi va axborot uzatuvchi muhitning mavjudligini nazarda tutadi.

An'anaviy elektr aloqa tizimlarida axborot eltuvchi vazifasini elektromagnit to'liqlar axborotni uzatuvchi muhit xizmatini esa elektr o'tkazgich simlar o'taydi. Bu hol ushbu turdagi aloqa tizimining halaqitlar (tashqi elektr va magnit maydonlarining ta'siri)ga bardoshliligini ta'minlash choralarini ko'rishni talab etadi va natijada aloqa liniyalarining o'lchamlari va vaznining ortishiga olib keladi.

Radioaloqa tizimlarida axborot eltuvchi o'rnida radiodiapazon (10^4 – 10^8 Hz) va o'ta yuksak chastota diapazonlarida (10^9 – 10^{12} Hz)gi elektromagnit to'liqlar, axborotni uzatuvchi muhit sifatida yer atmosferasi yoki kosmik muhitdan foydalaniladi.

Optik aloqa tizimlarining o'ziga xos xususiyati shundaki, ularda axborot eltuvchisi vazifasini yorug'lik diapazonidagi (10^{14} – 10^{15} Hz) elektromagnit to'liqlar — elektr jihatdan neytral foton zarrachalari, axborotni uzatuvchi muhit xizmatini esa yer atmosferasi yoki tashqi elektr va magnit maydonlari ta'siriga berilmaydigan dielektrik to'liqin uzatkich — optik tola o'taydi. Yorug'lik zarrachalari — fotonlar va dielektrik to'liqin uzatkichlarning yuqorida qayd etilgan fundamental xossalari optik aloqa tizimlari (ayniqsa, tolali optik aloqa tizimlari)ning bir qator afzalliklari — o'tkazish oralig'i (polosasi) ning kengligi, axborotlarni uzatish tezligining kattaligi, halaqitlarga yuqori darajada bardoshliligi, o'lchamlari va vaznining kichikligi, iqtisodiy jihatdan samaradorligi va h.k.larda namoyon bo'ladi.

Hozirgi vaqtda dunyoning barcha taraqqiy etgan mamlakatlarida optik aloqa tizimlari, xususan, tolali optik aloqa tizimlarini takomillashtirish, ulardan axborotlar oqimini uzatish va ularga ishlov berish tarmoqlarida foydalanish samaradorligini oshirish bo'yicha keng ko'lamli ishlar olib borilmoqda. Bizning mamlakatimizda ham

O'zbekiston Respublikasi Prezidenti I.A. Karimov va respublika hukumatining doimiy e'tiborlari tufayli axborot-kommunikatsiya tizimlarini modernizatsiyalash — ularni to'liq raqamlashtirish va tolali optik tarmoqlarni yaratish sohasida salmoqli yutuqlar qo'lga kiritildi. Jumladan, 1997-yilda Osiyo va Yevropa mamlakatlarini bog'lovchi qit'alararo tolali optik tarmoqning uzunligi 998 km li milliy segmentini o'tkazish va ishga tushirishga muvaffaq bo'lindi. Bugunga kelib mamlakatimizning turli hududlarini bog'lovchi tolali optik tarmoqlarining umumiy uzunligi 6000 km dan ko'proqni tashkil etadi. Toshkent shahrini viloyat markazlari bilan, viloyat markazlarini tuman markazlari bilan halqa topologiyasi bo'yicha optik tarmoqlar yordamida bog'lashga erishildi. Tolali optik tizimlarni shahar va qishloq tarmoqlarida, lokal va abonentlik tarmoqlarida, shuningdek, xalq xo'jaligining temiryo'l, neft-gaz, energetik va boshqa sohalarida qo'llash bo'yicha amaliy ishlar olib borilmoqda. Shu munosabat bilan mamlakatimizda optik aloqa va axborotga ishlov berishning optik tizimlari bo'yicha yuqori malakali kadrlar — bakalavrlar va magistrlar tayyorlash alohida ahamiyat kasb etadi. Shu maqsadda jadal sur'atlar bilan tegishli darsliklar, o'quv va o'quv-uslubiy qo'llanmalarni tayyorlash va nashr etish talab etiladi.

«Telekommunikatsiyalar» bakalavriatura yo'nalishi bo'yicha ta'lim oluvchi talabalar va ilmiy-texnik xodimlar uchun mo'ljallangan «Optik aloqa asoslari» darsligi ham shunday o'quv adabiyotlari sirasiga kiradi. Darslik yozish va nashrga tayyorlashda hozircha xorijiy tillar, jumladan, rus tilida bakalavriatura talabalari uchun ushbu fan bo'yicha darslikning mavjud emasligi hisobga olindi, mamlakatimizda amalda bo'lgan ikki bosqichli oliy ta'lim tizimi-ning talablariga asoslanildi, shuningdek, optik aloqa bo'yicha erishilgan so'nggi yutuqlarni imkon qadar e'tiborga olishga harakat qilindi.

O'quv materiallarini bayon qilishda «optik aloqa tizimlari va ularning turlari — mazkur tizimlarning ish xususiyatlari — optik aloqa tizimlarining funksional qurilmalari — optik aloqa tizimlarining aktiv va passiv elementlari — optik aloqa tarmoqlari, optik aloqa tizimlaridan foydalanish masalalari» ketma-ketligiga amal qilindi. Darslikda optik aloqaning qisqacha tarixi, uning so'nggi

o'n yilliklar davomida jadal rivojlanishi va keng qo'llanishi sabablari, ochiq va tolali optik aloqa tizimlarining tuzilish prinsiplari, tolali optik aloqa tizimlarida ikki tomonlama aloqani tashkil etish, mazkur tizimlarning liniyaviy traktida axborot oqimini zichlashtirish va sinxronlash masalalariga oid asosiy ma'lumotlar bayon etiladi. Unda optik aloqa tizimlarida qo'llaniladigan aktiv va passiv elementlar — yorug'lik manbalari (yorug'lik va lazer diodlari), fotoqabulqilgichlar (fotodiod, *p-i-n* fotodiodi, ko'chkili fotodiod, fototranzistorlar), optik kuchaytirgichlar (tolali va yarimo'tkazgichli kuchaytirgichlar), yorug'lik modulyatorlari (elektrooptik, akustooptik, magnitooptik va yarimo'tkazgichli modulyatorlar), optik ulagichlar va tarmoqlagichlar, optik atenuatorlar, filtrlar, izolyator va sirkulyatorlar, multipleksor va demultipleksorlar, optik kommutator va h.k.larning ish mexanizmlari, xarakteristika va parametrlari, qo'llanish xususiyatlari batafsil ko'rib chiqiladi.

Darslikda shuningdek, tolali optik aloqa tizimlarining liniyaviy traktini tashkil qilish, axborotlar oqimini kodlash va dekodlash, magistral, mintaqaviy, mahalliy, lokal va abonentlik optik tarmoqlarini tuzish hamda optik aloqa tizimlarini ekspluatatsiya qilish usullariga, mazkur tizimlarning rivojlanish istiqbollariga oid asosiy masalalar ham muhokama etiladi. Darslik Toshkent axborot texnologiyalari universiteti «Telekommunikatsiya injiniringi» kafedrasida o'qituvchilari — kafedra professori, texnika fanlari nomzodi R.I. Isayev (so'zboshi, 1, 10, 11, 12, 13-boblar), dotsent, fizika-matematika fanlari nomzodi N. Yunusov (so'zboshi, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 14-boblar), katta o'qituvchi G.X. Mirazimova (1, 2, 7, 11, 12, 13-boblar) tomonidan yozildi. O'z-o'zidan ayonki, universitetimizda «Telekommunikatsiyalar» bakalavriatura ta'lim yo'nalishida ta'lim oluvchi talabalar uchun keyingi o'quv yillarida o'qitilayotgan yangi «Optik aloqa asoslari» fani bo'yicha birinchi marta yozilgan va nashrga tayyorlangan ushbu darslikning tarkibiy tuzilishi, mavzularning yoritilish darajasi, ularni bayon etish usuli bo'yicha muayyan kamchiliklarga ega bo'lishi mumkin. Shu munosabat bilan mualliflar bu haqida o'z fikr-mulohazalarini bildirgan o'quvchilarga minnatdorchilik bildiradilar.

Mualliflar

1-bo'lim

OPTIK ALOQA TIZIMLARINING TUZILISH PRINSIPLARI VA ISH XUSUSIYATLARI

1-bob. OPTIK ALOQA HAQIDA UMUMIY MA'LUMOTLAR

1.1. Optik aloqa rivojining qisqacha tarixi

Insoniyat taraqqiyotida aloqa, xususan, *optik aloqa* (OA)ning roli katta bo'lgan, bunga sabab yorug'lik nurining tarqalish tezligining juda yuqoriligi ($3 \cdot 10^8$ m/s), to'g'ri chiziqli tarqalishi va boshqa xususiyatlaridir.

Axborotlarni uzatish uchun yorug'lik nurining qo'llanilishi uzoq tarixga ega. Dengizchilar axborotlarni uzatish uchun signal lampalarini qo'llaganlar, mayoqlar esa ko'p asrlar davomida dengizchilarni xavf-xatardan ogohlantirgan.

XVIII asrning 90-yillarida I.P. Kulibin (Rossiya) va K. Shapp (Fransiya) bir-biridan bexabar optik telegraf ixtiro qilishgan.

Bu optik telegraf quyosh nurini ko'zgular yordamida qaytarish asosida ishlagan. Axborotlarni masofaga uzatishda yorug'lik nurining qulayligini sezgan amerikalik ixtirochi Aleksandr Grexem Bell 1882-yilda fokuslantirilgan quyosh nurini qo'llab, Vashingtonda ikki bino tomi o'rtasida optik telefon (fotofon) aloqasini o'rnatgan. U o'zining qurilmasi yordamida ovozni nur orqali 200 metr masofaga uzatgan. Bu tizimlar atmosfera orqali to'g'ri uzatishni ta'minlangan.

Axborotlarni ochiq atmosferada uzatish yaxshi natija bermadi. Bunga sabab atmosferadagi harorat, havo oqimi, changlar, tuman va hakovolar tinimsiz o'zgarib turganligi sababli ochiq havo yorug'lik uzatuvchi muhit sifatida ishlashga yaroqsizligi va bu muammoning yechimi — axborotlarni yorug'lik uzatkich bo'ylab uzatish g'oyasi olimlar tomonidan XX asrning 60-yillarida aniqlandi. Bu g'oya yaratilguniga qadar olimlar bu borada tinimsiz ilmiy izlanishlar olib bordilar.

Birinchi yorug'lik uzatkichlar — XIX asrning 70-yillarida (1874–1876-yillar) Rossiyada yaratilgan. Rus elektrotexniki V.N. Chikolev

bir necha xonalarni bitta lampa bilan yoritish uchun ichi oynali metall trubalarni ishlatgan.

1905-yilda R. Vud «fizik optikada shisha yoki eng yaxshisi kvars tayoqcha devorlaridan «ichki qaytishni» qo'llab, yorug'lik energiyasini katta yo'qotishlarsiz bir nuqtadan ikkinchi nuqtaga o'tkazish mumkin, deb yozgan.

1920 – 1930-yillari Germaniyada elektromagnit to'lqinlarni shaffof yorug'lik o'tkazgichlar orqali uzatish bo'yicha ishlar olib borildi (O. Shriver, U. Bregg).

1927-yili Bayrd (Angliyada) va Xanzell (AQSHda) televide-niyeda tasvirlarni uzatish uchun juda ko'p tolalar ishlatish kerak, degan g'oyaga keldilar. Shu tarzda, o'tgan asrning 50-yillarigacha tasvirlarni ingichka yorug'lik uzatkich orqali uzatish g'oyasi, ya'ni tolali optika g'oyasi rivojlanib bordi.

1951-yilda tolali optik aloqa rivojlanishining yangi bosqichi boshlandi: Van Xiil (Gollandiyada), Kapani va Xopkins (Angliyada) bir-biridan bexabar tasvirlarni uzatish uchun shisha tolalarning mustahkam sozlanuvchan jgutlarini yaratish va ular yordamida tasvirlarni uzatish qonuniyatlarini tadqiq etish bo'yicha ish boshladilar.

Bunday uzatishda juda ko'p ingichka tolalar talab etilgan, ularni zich joylashtirish esa yorug'likning bir toladan boshqasiga o'tib ketishiga olib kelgan.

Bunday yorug'lik uzatuvchi tolalarda yorug'likning izolyatsiyasi masalalarini hal etishida Van Xiilning xizmatlari katta bo'ldi.

1953-yili Van Xiil plastikdan tayyorlangan sindirish ko'rsatkichi 1,47 bo'lgan yorug'likni izolyatsiyalovchi qobiqli shisha tolani yaratdi (shishaning sindirish ko'rsatkichi 1,5 – 1,7). Uning g'oyasi shundan iborat ediki, yorug'lik uzatkichning sindirish ko'rsatkichi qobiqlikidan katta bo'lishi kerak, shundagina yorug'lik nurining to'liq ichki qaytishiga erishish mumkin.

1958 – 1959-yillarda Kapani va Xirshovis tomonlaridan bu g'oya mukammallashtirildi. Ular kichik sindirish ko'rsatkichga ega bo'lgan shisha qobiqli shisha tola yaratdilar. Bu tolada yo'qotishlar plastik qobiqli tolaga nisbatan kamaygan, qobiqning sayqallangan tola yuzasini tashqi mexanik ta'sirlardan himoyalovchi boshqa vazifasi ham yuzaga keladi.

Shunday qilib, Van Xiil, Kapani va Xirshovis ishlaridan (1953–1959-yillar davri oralig'ida) tolali optikaning asosiy prinsipi – yorug'likni ikki qatlamli dielektrik yorug'lik uzatkichlar bo'ylab uzatish prinsipiga asos solindi. Barcha zamonaviy yorug'lik uzatkichlar ana shu prinsip asosida ishlaydi [1].

Fan-texnika, kvant fizikasi, optoelektronika bo'yicha erishilgan yutuqlar, optik kvant generator (lazer)larning yaratilishi bilan optik aloqa rivojlanishining zamonaviy davri boshlandi.

1954-yil rossiyalik olimlar N.G. Basov va A.M. Proxorov hamda amerikalik fizik Ch. Tauns ammiak molekulalari to'plamida ishlovchi, mazer deb ataluvchi mikroto'lqinli kogerent nurlanish manbayi – gazli kvant generatorini yaratdilar.

1959-yili N.G. Basov hamkasblari bilan birgalikda qattiq jismlari yorug'lik kvant generatorlarini yaratish uchun yarimo'tkazgichli materiallarni ishlatishni taklif etdi. Bunday nurlanish manbalari lazerlar (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation – LASER) deb ataldi. Olimlar bu kashfiyot uchun 1964-yilda fizika bo'yicha Nobel mukofotini oldilar.

Odatdagi optik nurlanish manbalariga qaraganda lazer nurlanishi yuqori monoxromatiklik, kogerentlik hamda juda yuqori intensivlikka ega va shuning uchun uni uzatish tizimlarida eltuvchi tebranish sifatida qo'llanilishi tabiiy edi. Lazer nurlanishi keng o'tkazish polosasini hosil qilish imkoniyatini yaratdi. Geliy-neon lazerli uzatish tizimi (ochiq fazodagi to'lqin uzunligi $\lambda = 0,63$ mkm, chastotasi $f = 4,7 \cdot 10^{14}$ Hz) 4700 GHz (asosiy chastotadan 1%) o'tkazish polosasiga ega bo'lib unda, bir vaqtda millionga yaqin televizion kanallarni joylashtirish mumkin.

1960-yillarda lazer nurlanishining turli modulyatsiya (chastota, faza, amplituda, intensivlik va qutblanish bo'yicha, impulsli modulyatsiya) turlarini amalga oshirish bo'yicha ko'plab texnik yechimlar tavsiya etildi, shuningdek, yorug'likning ochiq fazoda tarqalishini qo'llovchi bir qator lazer uzatish tizimlari yaratildi. Axborotlarni ochiq fazoda uzatishda hosil bo'ladigan yuqorida aytib o'tilgan kamchiliklar, shuningdek, bunday tizimlarda qo'llaniladigan nurlanish manbalari foydali ish koeffitsiyentining kichikligi ularni telekommunikatsiya tarmoqlarida qo'llanilishini chegaralaydi. Hozirda bir qator kamchiliklariga qaramay bunday tizimlar kos-

mosda, ba'zi xorijiy mamlakatlarda ko'p qavatli baland binolarda qo'llanilmoqda.

O'sha vaqtda yaratilgan optik tolaning so'nish qiymatlari katta bo'lib, taxminan 1000 dB/km ga teng bo'lgan. Bunday tolaga kiritilgan nur qisqa masofada deyarli butunlay yutilib ketadi.

Bu kamchilikni bartaraf etish maqsadida ko'plab tadqiqotlar olib borildi. 1966-yilda ingliz olimlari Kao va Xokxem o'zlarining ilmiy izlanishlarida optik toladagi nurning yutilish sabablarini tahlil qilib, nurning yutilishiga asosiy sabab metall ionlarining qoldiqlari ekanligini aniqladilar. Olimlar agar shisha ana shu ionlardan tozalansa, yutilish koeffitsiyenti $\alpha < 20$ dB/km bo'lgan tolalarni olish mumkinligini isbotlab berdilar. Shundan so'ng dunyo miqyosida yutish koeffitsiyenti kichik bo'lgan yorug'lik uzatuvchi tolalarni olish bo'yicha ishlar juda avj olib ketdi.

1975-yili laboratoriya sharoitida so'nish koeffitsiyenti 2 dB/km gacha bo'lgan optik tolalar olindi va 1979-yilga kelib esa so'nish koeffitsiyenti 0,2 dB/km li optik tolalar yaratildi.

1980-yilda ko'plab mamlakatlarda yo'qotishlari 10 dB/km dan kichik bo'lgan optik tolalar ishlab chiqdi, ishonchliligi yuqori bo'lgan yarimo'tkazgichli optik nurlanish manbalari, fotodetektorlar yaratildi va optik aloqa tizimlari bo'yicha har tomonlama izlanishlar olib borildi. Shu tarzda optik aloqa tizimlari davri va unga mos holda telekommunikatsiya, optoelektronika va kompyuter texnologiyalari davri boshlandi.

1977-yili Toshkent elektrotexnika aloqa instituti qoshida «Tolali raqamli optik aloqa ilmiy tadqiqot laboratoriyasi tashkil etildi. Bu laboratoriya xodimlari ushbu darslik mualliflaridan biri professor Rixsi Isayev rahbarligida 1984-yili Markaziy Osiyoda birinchi bo'lib, Toshkent shahar telefon tarmog'ining 234- va 241-avtomatik aloqa stansiyalari (XATS lari)ni bog'lovchi 4 km uzunlikli ko'p modali optik tolali 30 kanalli raqamli uzatish tizimini, 1988-yili esa Zangiota tumani markaziy aloqa bog'lanmasi (ATS) ini Bosh kommutatsiya markazidagi (ATS) bilan ulovchi 120 kanalli 16 km uzunlikdagi optik tolali uzatish tizimini ishga tushirishga muvaffaq bo'ldilar.

Hozirgi kunda nafaqat so'nish qiymatlari, balki to'lqin uzunligi bo'yicha zichlashtirilgan tizimlarda qo'llaniladigan, dispersiya qiy-mati minimal bo'lgan bir modali optik tolalar ham yaratildi. Bu

turdagi optik tola nolinci xromatik dispersiyani 1,55 mkm sohaga siljitish yordamida hosil qilindi. Bunday tolalar «Korning» (AQSH) Fudjikura (Yaponiya) kabi ko'plab xorijiy kompaniyalar tomonidan ishlab chiqarilmoqda.

O'zbekiston respublikasida ham telekommunikatsiya tarmoqlarini rivojlantirish borasida ko'p ishlar amalga oshirildi. Bu maqsadda 1995-yil 1-avgustda Vazirlar Mahkamasi tomonidan qabul qilingan «2010-yilgacha muddatda O'zbekiston Respublikasi telekommunikatsiya tarmoqlarini rivojlantirish va rekonstruksiya qilish Milliy dasturi» qabul qilindi. Ushbu dasturga muvofiq 1995–1997-yillarda TOO (Trans-Osiyo-Ovropa) magistralining jahon standartlariga mos keluvchi raqamli transport tarmog'ining Milliy segmentini qurish boshlandi va uzunligi 998 km dan ortiq magistral tolali optik aloqa (TOA) liniyasi foydalanishga topshirildi. TOA Milliy segmentida «Simens» (Germaniya) firmasining tolali optik kabellaridan foydalanildi.

1995–2000-yillarda OECF (Yaponiya) loyihasi doirasida 1080 km uzunlikda hududiy TOA liniyasi qurildi va foydalanishga topshirildi.

1996–1997-yillarda Toshkent shahrida «Simens» tolali optik kabellarini qo'llab, barcha elektron ATS larni, shuningdek, tugunli analog ATS larni birlashtiruvchi katta transport halqa qurildi.

2001-yilda EDSF (Koreya) loyihasi asosida Andijon va Farg'ona viloyatlarining hududiy telekommunikatsiya tarmoqlarini qayta ta'mirlash amalga oshirildi. Loyiha natijasida umumiy uzunligi 354 km bo'lgan hududiy TOA liniyasi qurildi.

Hozirda tashqi iqtisodiy birdamlik Yaponiya banki krediti hisobiga Farg'ona vodiysining uch viloyatining halqali tarmoqlari qurildi, Qashqadaryo, Sirdaryo viloyatlarida halqali hududiy telekommunikatsiya tarmoqlari qurildi. Buxoro – Nukus uchastkasida TOA liniyasining Buxoro – Navoi – Zarafshon – Uchquduq – Nukus TOA liniyasi orqali zaxiralash ishlari amalga oshirildi. Bu loyiha doirasida 2000 km magistral va 700 km hududiy TOA liniyalari yotqizildi. Bu loyiha o'z-o'zini tiklovchi halqali tuzilish va raqamli uzatish tizimlarini qo'llash asosida kanal hamda traktlarning zaxirasini ta'minladi, natijada aloqa tarmoqlarining ishonchliligi yanada oshdi.

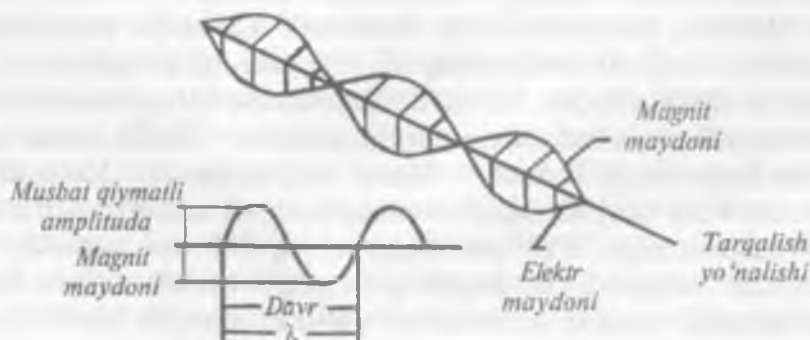
O'zbekiston telekommunikatsiya tizimining 28 yo'nalish bo'yi-cha dunyoning 180 ta mamlakatiga chiqadigan to'g'ridan-to'g'ri xalqaro kanallari mavjud. Bularda ham tolali optik, shuningdek, sun'iy yo'ldoshli tizimlardan foydalanilmoqda. Butun tarmoq nafaqat bugungi kunda balki keyinchalik ham hozirgidan ko'proq axborot o'tkazish quvvatiga ega bo'ladi.

1.2. Optik aloqaning afzalliklari

Istalgan aloqa tizimining asosiy vazifasi axborotlarni bir punktdan boshqasiga uzatishdan iborat. Optik to'lqin va signallar yordamida axborotlarni ma'lum masofalarga uzatishga mo'ljallangan, boshqacha aytganda, optik signallarni shakllantirish, qayta ishlash va uzatishni ta'minlovchi optik qurilmalar va optik uzatish liniyasi yig'indisiga *optik aloqa tizimi* (OAT) deb ataladi.

Optik aloqa tizimlarida axborotlarni uzatish mos keluvchi axborot signallari bilan modulyatsiyalangan elektromagnit tebranishlar, yorug'lik nuri yordamida amalga oshiriladi, ya'ni yorug'lik nuri o'zida elektromagnit tebranishlarni namoyon etadi. Elektromagnit tebranishlar esa o'zida o'zgaruvchan magnit va elektr maydonlarni namoyon etadi, bu maydonlarning tarqalish yo'nalishi bir-biriga perpendikulyar. Odatda, elektromagnit maydon sinusoidal egri chiziq sifatida tasvirlanadi (1.1-rasm) [2].

Yorug'lik nurlanishlari chastota yoki to'lqin uzunligi bilan tavsiflanadi. *Chastota* bir sekunda sinusoidal tebranishlar soni



1.1-rasm. Elektromagnit to'lqin

bilan aniqlanadi va gersda (Hz) o'lchanadi. *To'lqin uzunligi* — ikki ketma-ket to'lqinlarning nuqtalari orasidagi masofa (yoki to'lqin bir sikl tebranishda o'tadigan masofa). To'lqin uzunligi va chastota o'zaro bog'liq. To'lqin uzunligi (λ) to'lqin tezligini (s) uning chastotasi (f) ga nisbatiga teng:

$$\lambda = \frac{s}{f}$$

Demak, chastota qancha ortsa, to'lqin uzunligi shuncha qisqa bo'ladi. Aloqa tizimlari ko'pincha elektromagnit tebranishlar va tashuvchi chastota signallari egallagan diapazon bilan tasniflanadi (1.2-rasm).

Spektral diapazonga mos holda radiodiapazon, o'ta yuqori chastota, millimetrli va optik diapazon tizimlari farqlanadi.

Optik aloqa tizimlarida tashuvchi chastota tebranishlari spektrining optik diapazonini egallaydi. Optik diapazon 5 THz (100 mm)dan boshlanib, unga infraqizil, ko'rinuvchi va ultrabinafsha diapazonlar kiradi. Bu diapazonlar yuqori chastota va qisqa to'lqin uzunligiga ega.

Infraqizil diapazon $3 \cdot 10^{12}$ dan $4 \cdot 10^{14}$ Hz doirasida joylashib, 100 — 0,75 mkm to'lqin uzunligiga mos keladi.

Ko'rinuvchi spektr $4 \cdot 10^{14}$ dan $0,75 \cdot 10^{15}$ Hz (0,75 — 0,4 mkm) sohani egallaydi. Demak, inson ko'zi 0,4 — 0,75 mkm spektrdagi nurlarga sezgir. Quyosh spektri 0,3 dan 1,5 mkm diapazonda joylashadi.

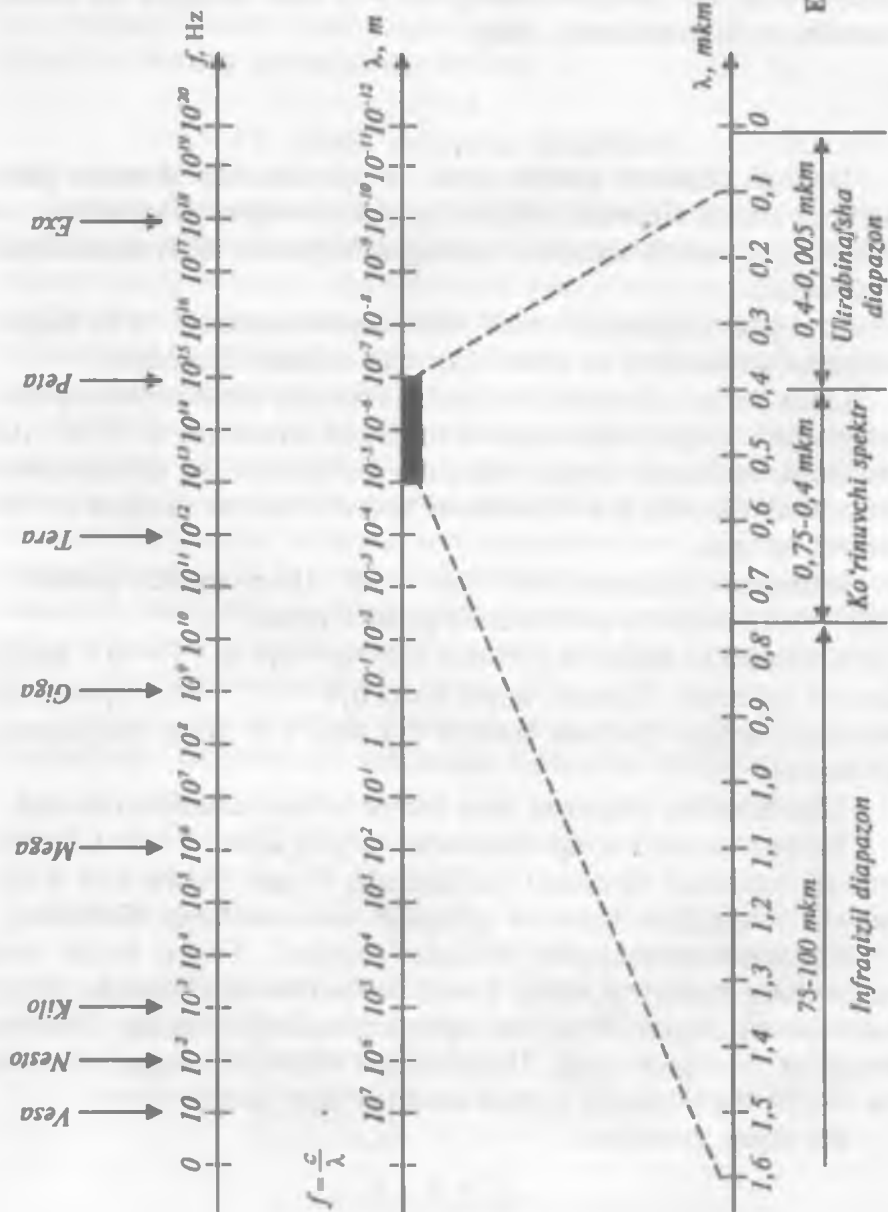
Ultrabinafsha diapazon juda kichik to'lqin uzunliklariga ega.

Ko'pincha optik aloqa tizimlarida to'lqin uzunligi 0,8—1,5 mkm oraliqli infraqizil diapazon qo'llaniladi, chunki shisha tola ko'rinuvchi yorug'likka nisbatan infraqizil nurlanishlarga shaffofroq.

Yorug'lik zarrachalari fotonlar deyiladi. Foton kvant yoki nurlanishni namoyon etadi. Kvant nurlanishning elementar birligi hisoblanadi. Foton energiyasi uning chastotasiga bog'liq. Chastota ortgan sari energiya ortadi. Ultrabinafsha diapazonga yuqori chastota va bunga bog'liq holda yuqori energiya mos keladi.

Bir foton energiyasi:

$$E = h \cdot f,$$



bunda: f — uning chastotasi;

h — Plank doimiysi, $6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{sek}$ (Joul $\cdot$ sekund).

Ya'ni, foton energiyasi uning chastotasiga bog'liq va proporsional.

Infraqizil nur (10^{13} Hz) energiyasi $E = 6,63 \cdot 10^{-20} \text{ J} \cdot \text{sek}$.

Ko'rinuvchi nur (10^{14} Hz) energiyasi $E = 6,63 \cdot 10^{-19} \text{ J} \cdot \text{sek}$.

Ultrabinafsha nur (10^{15} Hz) energiyasi $E = 6,63 \cdot 10^{-18} \text{ J} \cdot \text{sek}$. [2].

Yorug'lik nurini zarracha va to'lqin sifatida ko'rish mumkin. Masalan, optik tolaning ko'pgina xarakteristikalarini to'lqin uzunligiga bog'liq, bunda to'lqin sifatida ko'riladi. Nurlanish generatsiyasida yoki fotoqabul qilishda nurlanishning kvant xususiyatlari e'tiborga olinadi. Nurlanishning tashuvchi chastotasi aloqa tizimining uzatish tezligi va o'tkazish polosasini aniqlaydi. Optik aloqa tizimlarida tashuvchi chastota juda yuqori. Bunga bog'liq holda optik diapazonning chastota polosasi radiodiapazonga qaraganda 105 marta katta. Bu optik aloqa tizimining eng muhim afzalligi bo'lib, katta hajmdagi axborotlarni qisqa vaqt ichida uzatish imkonini beradi. Bundan tashqari, uzatkichning hamma quvvatini foydali elektromagnit nurlanishlarni uzatishga qaratish imkoniyati tashuvchi chastota o'sishi bilan ortadi. Shuningdek, yuqori tashuvchi chastotani qo'llash foydali signalning katta zichligiga olib keladi, o'z navbatida aloqa tizimining samaradorligi ortadi. Bu xususiyatlari mutaxassislarning optik aloqa tizimlariga qiziqishlarini aniqlaydi.

OAT yuqorida aytib yilgan xususiyatlaridan tashqari, mis kabelli va boshqa uzatish tizimlariga qaraganda bir qancha afzalliklarga ham ega. Shuning uchun optik aloqa tizimlaridan nafaqat telefon aloqasini tashkil etish, balki televideniya, ovoz eshittirishlarini uzatish, hisoblash texnikasi, transport vositalari va boshqa sohalarda keng foydalanilmoqda.

Optik aloqa tizimlarining afzalliklari quyida ta'riflangan.

O'tkazish oraliqining kengligi. Bu tashuvchi chastotasining juda yuqoriligi $10^{14} - 10^{15} \text{ Hz}$ bilan tushuntiriladi. Bitta optik tola bo'ylab sekundiga bir necha terabit axborotlar oqimini uzatish imkoniyati mavjud. O'tkazish oraliqining kengligi optik tolaning mis va boshqa axborot uzatish muhitlaridan ustun turuvchi eng muhim afzalligidir.

Optik tolada yorug'lik signallarining kam so'nishi.

Hozirgi kunda ko'plab kompaniyalar tomonidan ishlab chiqarilayotgan optik tolalar 1 kanal kilometr hisobida 1,55 mkm to'lqin uzunligida 0,2 – 0,3 dB/km so'nishga ega. So'nish va dispersiya qiymatlarining kichikligi optik signallarni liniya trakti bo'ylab retranslyatsiyasiz 100 km va undan uzoq masofalarga uzatish imkonini beradi.

Shovqin sathining kichikligi optik tolaning o'tkazish qobiliyatini oshiradi.

Shovqindan yuqori darajada himoyalanganligi. Optik tola dielektrik materiallar — kvars, ko'p tarkibli shisha, polimerlardan tayyorlanganligi uchun u elektromagnit nurlanishni induksiyalash xususiyatiga ega, atrofidagi mis kabelli tizim va elektr qurilmalarning (elektr uzatish liniyalari, elektrodvigatelli uskuna va boshqalar) tashqi elektromagnit shovqinlariga ta'sirchan emas. Shuningdek, ko'p tolali optik kabellarda ko'p juftli mis kabellarga xos elektromagnit nurlanishlarning o'zaro ta'siri kabi muammolar yuzaga kelmaydi.

Optik kabellarning bu afzalligi tufayli ishlab chiqarish korxonalari, boshqaruv markazlari, samolyot va kema kabi transport vositalarida foydalangan ma'quldir. Chunki shu kabi kichik joylarda ham energetik qurilmalar, ham avtomatika va teleboshqaruv tizimlari, ham ko'p sonli abonent qurilmalaridan iborat tarmoqlangan aloqa tarmoqlari joylashgan bo'ladi. Bunday holatda elektromagnit va o'zaro shovqinlar yuzaga keladi. Optik kabellarning esa bunday shovqinlarga ta'sirchan emasligi aytib o'tildi.

Optik kabellarning yengilligi, hajmi va o'lchamlarining kichikligi. Optik kabellar mis kabellar bilan solishtirilganda ancha yengil va hajmi kichik. Masalan, 900 juftli 7,5 sm diametrli mis telefon kabeli 0,1 sm diametrli bitta optik tola bilan almashtirilishi mumkin. Agar optik tola bir necha himoya qobiqlaridan iborat va bron po'lat tasma bilan qoplangan bo'lsa, bunday tola diametri 1,5 sm ga teng bo'ladi, bu esa ko'rilyotgan mis kabel diametridan bir necha marta kichik.

Optik tolaning bu afzalligi optik kabelli liniya traktlarini qurishda ancha yengilliklar yaratadi. Yengilligi va o'lchamining kichikligi tufayli optik tolaning samolyot, vertolyot va boshqa transport

vositalarida ishlatilishi optik aloqaning juda muhim yutug'idir. Masalan, axborotlarni yig'ish va boshqarish vazifalarini bajarish uchun maxsus jihozlangan samolyotlarda bog'lovchi kabellar og'irligini 1 tonnadan ortiqqa kamaytiradi.

Aloqaning maxfiyligi. Tolali optik kabellar radioto'ldin diapazonida umuman nur uzatmasligi sababli, undan uzatilayotgan axborotni uzatib-qabul qilishni buzmasdan ruxsatsiz tashqi ulanishlarda eshitish juda qiyin. Optik aloqa liniyasining monitoring tizimi (uzluksiz nazorat) tolaning yuqori sezgirlik xususiyatini qo'llab, darhol ruxsatsiz tashqaridan eshitilayotgan aloqa kanalini o'chirishi va xavf (trevoga) signalini uzatishi mumkin.

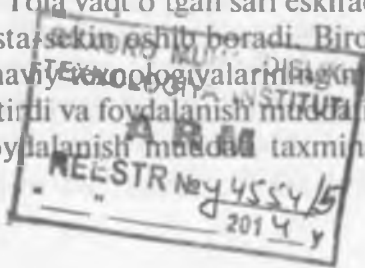
Tarqaluvchi optik signallarning interferensiya effektini qo'llovchi tizimlar tebranishlar va bosimning ozgina og'ishlariga sezuvchanligi juda yuqori. Hukumat, bank va ma'lumotlar himoyasiga yuqori talablar qo'yiladigan boshqa maxsus xizmatlarning aloqa liniyalarini tashkil etishda bunday tizimlar ayniqsa zarurdir.

Yong'indan himoyalanganligi. Optik tolada uchqun hosil bo'lmashligi kimyoviy, neftni qayta ishlovchi korxonalar, portlash va yong'in xavfi mavjud bo'lgan binolarda xavfsizlikni oshiradi.

Iqtisodiy jihatdan samaradorligi. Optik tola kvarsdan ishlab chiqariladi. Uning asosini tabiatda keng tarqalgan kremniy ikki oksidi SiO_2 tashkil etadi. Demak, tolali optik kabellarni ishlab chiqarish uchun noyob rangli metall sarflanmaydi. Mis va qo'rg'o-shinning dunyoviy zaxiralari chegaralangan hozirgi vaqtda noyob bo'lmagan mahsulotga o'tish kabelli aloqa texnikasining kelgusi rivojlanishi uchun muhim omil hisoblanadi. Natijada optik kabellarning narxi mis kabellarga nisbatan arzonlashadi.

Tolali optik kabellar signallarni uzoq masofalarga retranslyatsiyasiz uzatish imkonini beradi. Uzoq masofali liniya traktlarida optik kabellarning qo'llanilishi retranslyatorlar sonining qisqarishiga olib keladi. Buning natijasida ham sarf-xarajatlar kamayadi.

Foydalanish muddatining uzoqligi. Tola vaqt o'tgan sari eskiradi, ya'ni yotqizilgan kabellarda so'nish asta-sekin oshib beradi. Biroq, optik tola ishlab chiqarishning zamonaviy texnologiyalarining kumammallashuvi bu jarayonni sekinlashtirdi va foydalanish muddatini uzaytirdi. Tolali optik kabellardan foydalanish muddati taxminan 25 yilni tashkil etadi.



Hozirgi kunda turli vazifali va tuzilishli optik tola hamda kabellar ishlab chiqarilmoqda. Keng polosali uzoq aloqa tizimlari, jumladan, magistral aloqa uchun toladan faqatgina asosiy to'liqin tarqaladigan bir modali kabellarning yangi turlari ishlab chiqarilmoqda. Magistral aloqa liniya traktlarida signal uzatishda tolaning so'nish va dispersiya parametrlariga ham yuqori talablar qo'yiladi. Bundan tashqari, optik nurlanish qutblanishining saqlanishini ta'minlovchi tolalar ham ishlab chiqarilmoqda.

Yangi turdagi optik tolalarning (siljigan dispersiyasi nolga teng bo'lmagan), keng polosali kvant optik kuchaytirgichlarning yaratilishi to'liq optik tizim va optik traktlarning qurish imkoniyatini yaratmoqda. OAT ko'plab bir qancha afzalliklarga ega bo'lishiga qaramay kamchiliklarga ham ega. Bu OAT qurilmalarining qimmatliligi va ba'zi optik texnologiyalarning mukammal darajaga yetmaganligi bilan tushuntiriladi. Bunga bog'liq holda quyidagi kamchiliklarni aytish mumkin:

- element bazasining qimmatligi. Optik uzatkich va qabul qilgichlarning narxi qimmat. Ayniqsa lazer nurlanish manbalarining narxi qimmat va xizmat qilish muddati chegaralangan. Shuningdek, passiv optik qurilmalar (multipleksor, kommutator, attenyuator va boshqalar)ni ishlab chiqarish ham katta sarf-xarajatlarga olib keladi;

- optik tolani montaj qilish va xizmat ko'rsatishning murakkabligi. Elektr kabelli tizimlarga nisbatan optik kabelli tizimlarni qurish, undan texnik foydalanish, o'lchov va montaj ishlari murakkab bo'lib, juda yuqori malakani talab etadi;

- tolani maxsus himoyalash zaruriyati. Mikroyoriqlarda signalarning yo'qolmasligi uchun optik tolani ortiqcha yuklash va bukilishlardan himoyalash kerak. Maxsus himoyalashni tashkil etish, ishonchlilikni oshirish maqsadida optik tolani ishlab chiqarish jarayonida tola epoksiakrilad asosidagi maxsus lok bilan qoplanadi. Bundan tashqari, kabel maxsus po'lat tross va shisha plastik sterjenlar hisobiga yanada mustahkamlanishi mumkin. Bularning barchasi tolali optik kabel narxini oshiradi [3].

Bundan tashqari, optik diapazon to'liqin uzunligining kichikligi optik elementlarni tayyorlash texnologiyasini murakkablashtiradi va narxini oshiradi. Bu muammolyar ishlab chiqarish texnolo-

giyasining rivojlanishi va optik elementlarning mukammalashuvi bilan yechimini topmoqda.

1.3. Optik aloqa tizimlarining tasnifi

Optik signallar tarqaladigan uzatish muhitiga bog'liq holda OAT ochiq optik aloqa tizimi va tolali optik aloqa tizimlariga bo'linadi. Axborotlar ochiq optik uzatish muhiti orqali uzatilsa, *ochiq optik aloqa tizimi* (OOAT), *tolali optik uzatish muhiti orqali uzatilsa, tolali optik aloqa tizimi* (TOAT) deyiladi.

OOATda nurlanish manbalari elektromagnit to'lqinlarni ochiq fazoga nurlantiradi. OOATning uzatuvchi muhiti o'z navbatida uch turga bo'linadi: atmosfera, kosmik va suvosti aloqa muhitlari.

OATning asosiy yo'nalishi TOAT hisoblanadi. TOATda elektromagnit nurlanishlarning tarqalish yo'lini tashkil etish uchun maxsus optik yorug'lik uzatkich — optik tolalar qo'llaniladi. Hozirgi vaqtda uzatish xarakteristikalarini yuqori darajada bo'lgan yorug'lik uzatkichlar, optik tolalar ishlab chiqilgan. Ammo axborotlarni ochiq fazo va atmosferada uzatishga asoslangan OOAT ham, radioaloqa uchun ajratilgan chastotalarni to'ldiruvchi vosita sifatida qiziqishlarni namoyon etadi.

Optik aloqa tarmog'i bu tugunlar orasi optik uzatish muhiti orqali bog'langan aloqa tarmog'idir. Tugunlar orasi tolali optik uzatish muhiti orqali bog'lansa, tolali optik aloqa tarmog'i, ochiq optik uzatish muhiti orqali bog'lansa, ochiq optik aloqa tarmog'i deb ataladi. Qo'llaniladigan modulyatsiya turiga ko'ra *analog* va *raqamli* OAT ga bo'linadi. Analog OAT da modulyatsiyaning analog usullari: amplituda, chastota va faza modulyatsiyasi turlari qo'llaniladi. Optik nurlanish manbalarining yuqori nochiziqliligi va analog uzatish uchun talab etiladigan shovqin bardoshlilikni ta'minlash texnik murakkabligi sababli analog OAT dan foydalanish cheklangan. Shunga qaramay bir qator sohalar (optik kabelli televideniye, telemetriya, operativ va xizmat aloqa tizimlari)da qo'llaniladi.

Raqamli OATda modulyatsiyalashning diskret usullaridan foydalaniladi. Bunda signal tashuvchining biron-bir parametri diskret o'zgaradi, ya'ni boshlang'ich parametrning qiymatlar sohasi kvantlash sathlariga bo'linadi, har bir kvantlash sathiga mos

ravishda aniq diskret signal qo'yiladi. Hozirgi kunda raqamli OATdan keng foydalanilmoqda. Chunki raqamli OAT analog OATga qaraganda quyidagi afzalliklarga ega: shovqin bardoshliligi yuqori, signalni uzatish sifati liniya trakti uzunligiga kam bog'liq, texnik iqtisodiy ko'rsatkichlari yuqori va boshqalar.

Vazifasi va signallarning uzatish masofasiga ko'ra, OAT *magistral*, *mintaqaviy*, *mahalliy-shahar* va *qishloq* aloqa tizimlariga bo'linadi. Magistral OAT signallarni 1000 km ga, mintaqaviy OAT signallarni 600 km ga uzatish, shahar OAT shahar telefon tarmog'ining bog'lovchi liniyalarini zichlashtirish uchun xizmat qiladi.

1.4. Optik aloqa tizimlarining tuzilish prinsiplari

OAT da axborotlarni yorug'lik, ya'ni optik signallar ko'rinishida uzatish va qayta ishlash amalga oshiriladi. OAT uchun yorug'lik nurlanishi va to'lqin uzunligi turini tanlash uzatilayotgan axborot xarakteri, shuningdek, nurlanish hosil qilish imkoniyatlari, undan signal shakllanishi, yorug'lik to'lqinini uzatish va qayta ishlash va nihoyat, axborotga ega signalni qabul qilishga bog'liq.

1.3-rasmda OATning umumlashgan tuzilish sxemasi keltirilgan.

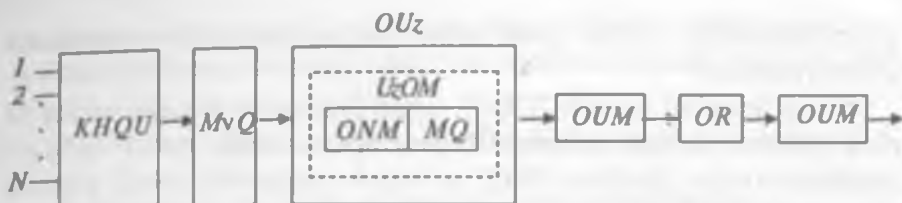
Sxema OAT ning turlari TOAT va OOAT ga xos standart qurilma (element)lardan tashkil topgan.

Uzatishdagi KHQU, MvQ, OUz va qabul qilishdagi KHQU, MvQ, OQq mos ravishda uzatish va qabul qilish traktlarini tashkil etadi. Oraliq stansiyalarda OR o'rnatiladi. Tolali optik liniya traktiga OUz, OUM, OR, OQq kiradi. OATning umumlashgan tuzilish sxemasi tarkibiga quyidagi texnik vositalar kiradi:

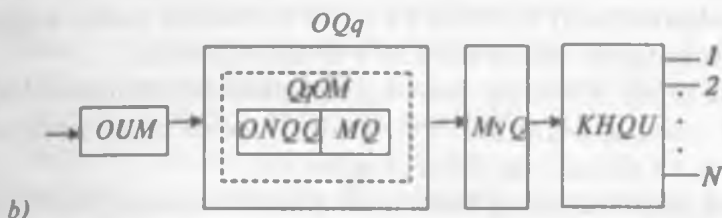
1) uzatish traktining kanal hosil qiluvchi uskunasi (KHQU), u standart o'tkazish polosali yoki uzatish tezlikli aniq tipli kanallar yoki tipli guruhli traktlar sonining shakllanishini ta'minlaydi;

2) traktning muvofiqlashtiruvchi qurilmasi (MvQ), u KHQU chiqishidagi ko'p kanalli signal parametrlarini optik uzatkich parametrlari bilan muvofiqlashtirish uchun zarur;

3) optik uzatkich (OUz), elektr signalini optik signalga o'zgartirishni ta'minlaydi; OUz tarkibiga quyidagilar kiradi:



a) *a – OAT uzatish traktining tuzilish sxemasi*



b) *b – OAT qabul qilish traktining tuzilish sxemasi*

1.3-rasm. OATning umumlashgan tuzilish sxemasi

– optik nurlanish manbayi (ONM), u optik tashuvchiga ega boʻlib, optik tashuvchining bir yoki bir necha parametrlari MvQ dan tushgan koʻp kanalli elektr signali bilan modulyatsiyalanadi;

– moslashtiruvchi qurilma (MQ), u optik nurlanishni optik uzatish muhitiga minimal mumkin boʻlgan yoʻqotishlar bilan kiritish vazifasini bajaradi;

– optik nurlanish manbayi va moslashtiruvchi qurilma uzatuvchi optik modul ($UzOM$) deb ataladigan bitta blokka kiradi;

4) optik uzatish muhiti (OUM), optik nurlanishni uzatish vazifasini bajaradi; OOATda bu atmosfera, kosmik va suvosti aloqa muhitlari boʻlishi mumkin, TOAT esa optik toladir;

5) optik retranslyator (OR), signalning optik uzatish muhiti boʻylab tarqalgandagi soʻnishini kompensatsiya qiladi va turli buzilishlarni korreksiyalaydi; optik retranslyatorlar xizmat koʻrsatadigan va xizmat koʻrsatmaydigan boʻlishi mumkin, ular retranslyatsiya uchastkalari deb ataladigan maʼlum masofalar oraligʻida oʻrnatiladi; optik retranslyatorlarda optik signalni elektr signalga aylantirish yoʻli bilan elektr signalni qayta ishlash (kuchaytirish, korreksiyalash, regeneratsiyalash va b.) amalga oshiriladi, soʻng bu regeneratsiyalangan elektr signal qaytadan optik signalga oʻzgartiriladi; optik retranslyatorlarda, shuningdek, optik signallar ham

qayta ishlanadi, ya'ni optik kvant kuchaytirgichlar yordamida kuchaytiriladi;

6) optik qabul qilgich (OQq), optik nurlanishni qabul qilish va elektr signalga aylantirishni ta'minlaydi, optik qabul qilgich moslashtiruvchi qurilma (MQ) va optik nurlanish qabul qilgichi (ONQQ) dan iborat; moslashtiruvchi qurilma optik nurlanishni uzatuvchi muhitdan minimal yo'qotishlar bilan qabul qilish uchun kerak; moslashtiruvchi qurilma va optik nurlanish qabul qilgichi qabul qiluvchi optik modul (QqOM) ni tashkil etadi;

7) qabul qilish traktining muvofiqlashtiruvchi qurilmasi (MvQ), u QqOM chiqishidan berilayotgan signalni mos keluvchi KHQning ko'pkanalli signalga o'zgartiradi;

8) qabul qilish traktining kanal hosil qiluvchi uskunasi (KHQU), uzatishga teskari jarayon, ko'p kanalli signalni alohida tipli kanallar va traktlar signallariga ajratishni amalga oshiradi.

OAT da optik tashuvchini ko'p kanalli elektr signal bilan modulyatsiyalash uchun chastotali modulyatsiya (ChM), fazali modulyatsiya (FM), amplitudali modulyatsiya (AM), qutblanishli modulyatsiya (QM), intensivlik bo'yicha modulyatsiyalash va modulyatsiyaning boshqa turlarini qo'llash mumkin. Optik nurlanishning intensivlik bo'yicha modulyatsiyalash turi ko'proq qo'llaniladi.

Bunga sabab, modulyatsiyaning bu turi keng chastota diapazonida oddiy texnik qurilmalar yarimo'tkazgich nurlanish manbalari (yorug'lik diodi, lazer diodlar) uchun bajariladi. Yarimo'tkazgich manbaning nurlanish intensivligini boshqarish uchun modulyatsiyalaydigan elektr signal bilan mos holda injeksiya tokini o'zgartirish yetarlidir.

Bu tok kuchaytirgich ko'rinishidagi elektron sxema yordamida oson amalga oshiriladi. Optik nurlanishning intensivlik bo'yicha modulyatsiyasi teskari jarayon optik signalni elektr signalga o'zgartirish masalasini yengillashtiradi. Darhaqiqat, fotoqabul qilgich tarkibiga kiruvchi fotodetektor kvadratik asbob hisoblanib, uning chiqishidagi tok optik maydon amplitudasining kvadratiga proporsional.

Intensivlik bo'yicha modulyatsiyalangan optik signalni bevosita fotodetektorga berib, osongina uni boshlang'ich signal ko'rinishini

saqlagan elektr signaliga o'zgartirish mumkin. Optik signallarni qabul qilishning bu usuli bevosita fotodetektorlash usuli deyiladi.

1.5. Ochiq optik aloqa tizimining tuzilish prinsipi

1.4-rasmda OOATning tuzilish sxemasi ko'rsatilgan.

OOATning tuzilish sxemasi tarkibiga quyidagi bloklar kiradi:

KHQU — kanal hosil qiluvchi uskuna;

MvQ — muvofiqlashtiruvchi qurilma;

OUz — optik uzatkich;

ONM — optik nurlanish manbayi;

MQ — moslashtiruvchi qurilma;

UzOM — uzatuvchi optik modul;

OOATUM — ochiq optik aloqa tizimining uzatish muhiti;

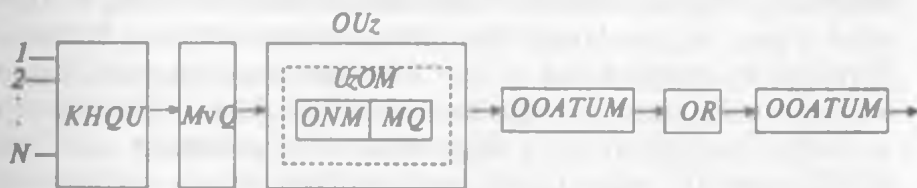
OR — optik retranslyator; OQq — optik qabul qilgich;

QqOM — qabul qiluvchi optik modul;

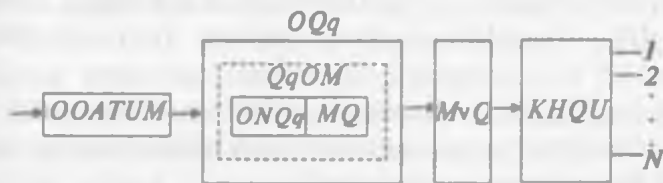
ONQq — optik nurlanish qabul qilgichi.

Sxema OATlariga xos standart texnik qurilmalardan iborat. Tolali optik liniya traktiga OUz, OOATUM, OR, OQq kiradi.

1.4-rasmda ko'rsatilganidek, uzatuvchi stansiyadan N kanalning birlamchi elektrik signallari KHQUga tushadi. KHQU chiqishidan ko'p kanalli elektr signali muvofiqlashtiruvchi qurilmasiga beriladi.



a) a — OOAT uzatish traktining tuzilish sxemasi



b) b — OOAT qabul qilish traktining tuzilish sxemasi

1.4-rasm. OOATning tuzilish sxemasi

MvQ da bu signal optik uzatkich parametri bilan moslashtiriladi. OUz da elektr signali optik tashuvchini modulyatsiyalash yo'li bilan optik signalga o'zgaradi. So'ng bu optik signal OOATUM bo'ylab uzatiladi.

Optik signal uzatish muhiti bo'ylab tarqalganda so'nadi va buziladi. Optik signallarni uzoq masofalarga uzatish maqsadida ma'lum oraliqlarda signallarning buzilish darajasiga qarab, retranslyatorlar: regenerator yoki kvant optik kuchaytirgichlari o'rnatiladi. Regenerator kirishida optik signallar elektr signallariga, chiqishida esa elektr signallardan optik signallarga o'zgartiriladi, ya'ni regeneratorlarda elektr signallar kuchaytiriladi, sozlanadi va boshlang'ich shakli tiklanadi. Kvant optik kuchaytirgichlari qo'llanilganda esa so'ngan optik signallar elektr signaliga o'zgartirilmasdan optik signallar ko'rinishida kuchaytiriladi.

Qabul qilishda teskari jarayon amalga oshiriladi, ya'ni qabul qilingan optik signal ko'pkanalli elektr signalga o'zgartiriladi va KHQU chiqishida N kanal signallariga ajratiladi.

OOAT uzatish muhiti atmosfera, kosmik va suvosti aloqa muhitlari bo'lishi mumkin.

Atmosferali OOATda to'lqinlarning tarqalish xarakteristikasi yetarli darajada ob-havo sharoitlariga bog'liq. Atmosfera va suvosti uzatish muhitlarining fizik nuqtayi nazaridan nobirjinsligi va ular tarkibidagi begona zarrachalarning uzatilayotgan nurlanish to'lqini bilan o'zaro ta'sirda bo'lishidan elektromagnit to'lqinlar buziladi. Zarracha o'lchamlarining to'lqin uzunligi bilan taqqoslanadigan darajada yoki katta bo'lishi buzilishlarni oshiradi. Shu sababli atmosfera buzilishlari optik diapazonda turli xarakterga ega. Shu tarzda uzatish muhitlarini tahlil qilish, aloqa tizimlarini loyihalashtirishda yuzaga keladigan eng muhim masala hisoblanadi. To'lqinlarning tarqalish yo'nalishiga tushib qoladigan zarrachalar, asosan, optik nurlanishni yutadi va sochadi. Bu omillarning ta'sir darajasi muhit turiga (suvosti, toza havo, turbulent atmosfera va boshqalar) bog'liq. Bu tizimlarda buzilishlarni kamaytirish va talab etiladigan ishonchlilikni ta'minlash uchun retranslyatsiya uchastkasi uzunligini kamaytirish kerak bo'ladi.

Kosmik OOATning uzatish muhiti bu atmosferadan holi bo'lgan ochiq fazodir. Kosmik muhitda atmosfera muhitlariga xos bo'lgan

buzilishlar hosil bo'lmaydi, ular barqaror bo'lib, aloqaning yuqori ishonchligini ta'minlaydi.

Lekin nurlanishning tarqalish yo'nalishi faqatgina antennaning yo'nalish diagrammasi bilan aniqlanadi. Shuning uchun kosmik muhitlarda asosiy yo'qotishlar bu tarqalishda hosil bo'ladigan yo'qotishlar hisoblanadi.

OOATlarining uzatish va qabul qilish antennalarining aniq yo'naltirilishiga qaratilgan yuqori talablar, optik nurlanish manbalarining foydali ish koeffitsiyentining kichikligi, qabul qilishda shovqin sathining yuqoriligi, atmosfera xarakteristikalarining aloqa sifatiga ta'siri kabi bir qator muammo va kamchiliklari sababli OOAT telekommunikatsiya tarmoqlari va umumiy foydalanish tizimlarida keng qo'llanish topmagan.

1.6. Tolali optik aloqa tizimining tuzilish prinsipi

TOATning tuzilish sxemasi (1.5-rasm) ham OATga xos standart qurilmalardan iborat.

Faqatgina optik signallarning tarqalishini ta'minlash uchun uzatish muhiti sifatida optik kabel tolasi ishlatiladi.

TOATning tuzilish sxemasi tarkibiga quyidagilar kiradi [4]:

KHQU — kanal hosil qiluvchi uskuna;

MvQ — muvofiqlashtiruvchi qurilma;

OUz — optik uzatkich;

ONM — optik nurlanish manbayi;

MQ — moslashtiruvchi qurilma;

UzOM — uzatuvchi optik modul;

OT — optik tola; OR — optik retranslyator;

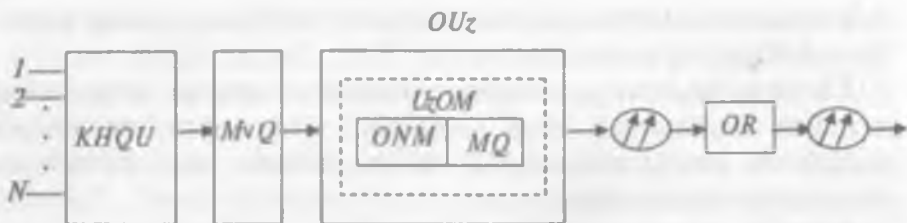
OQq — optik qabul qilgich;

QqOM — qabul qiluvchi optik modul;

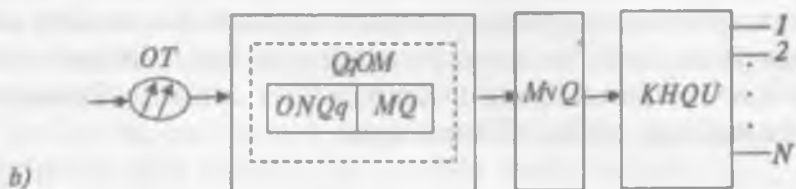
ONQq — optik nurlanish qabul qilgichi.

TOATda signallar optik tola orqali yo'naltirilganligi uchun ularda OOATga xos kamchiliklar mavjud emas.

Shuning uchun telekommunikatsiya tarmoqlarida, asosan, TOATdan foydalaniladi. Keyingi bo'limlarda TOAT haqida bayon etiladi.



a) *a – TOAT uzatish traktining tuzilish sxemasi*



b) *b – TOAT qabul qilish traktining tuzilish sxemasi*

1.5-rasm. TOATning tuzilish sxemasi

1.7. Ikki tomonlama tolali optik aloqa tizimini tashkil etish usullari

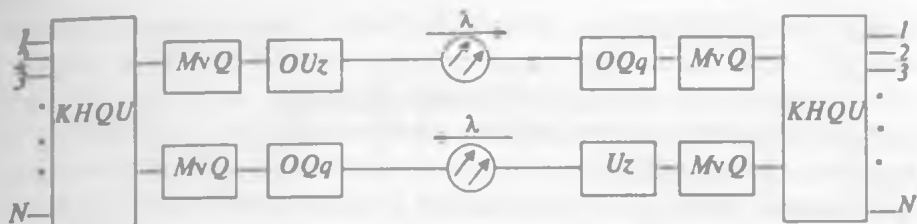
Ikki tomonlama tolali optik aloqa tizimini tashkil etishning quyidagi usullari mavjud:

- ikki tolali, bir polosali, bir kabelli (to‘rt o‘tkazgichli, bir polosali, bir kabelli);
- bir tolali, bir polosali, bir kabelli (ikki o‘tkazgichli, bir polosali, bir kabelli);
- bir tolali ko‘p polosali bir kabelli yoki to‘lqin uzunligi bo‘yicha zichlashtirilgan tizimlar.

1.5-rasmda keltirilgan TOAT ning tuzilish sxemasida faqat uzatishning bir yo‘nalishi ko‘rsatilgan.

Bunday tuzilishda optik signallarni uzatish va qabul qilish ikki tola bo‘ylab (1.6-rasm), bitta to‘lqin uzunligida amalga oshiriladi.

Har bir optik tola ikki simli fizik zanjirga o‘xshaydi, chunki kabelning optik tolalari orasida o‘zaro o‘tishlar bo‘lmaydi. Shuning uchun, TOAT ning uzatish va qabul qilish traktlari bir kabelning ikki tolasini bo‘ylab tashkil etiladi, ya’ni TOAT bir kabelli hisoblanadi.



1.6-rasm. Ikki tolali bir polosali bir kabelli
TOAT sxemasi

Shu tarzda, keltirilgan tolali optik aloqa tizimini tashkil etish sxemasi ikki tolali, bir polosali, bir kabelli hisoblanadi. Ushbu aloqani tashkil etish sxemasining afzalligi — bu oxirgi va oraliq stansiyalarning uzatish va qabul qilish qurilmalarining bir turdaligidir.

Kamchiligi esa optik tolaning o'tkazish qobiliyatidan samarali foydalanish koeffitsiyenti juda kichik.

Kabel qurilmalariga ketadigan xarajatlar optik aloqa tizimlari narxining katta qismini tashkil etishini, optik kabel narxi yetarli darajada qimmatligini hisobga olsak, optik toladan bir vaqtda katta hajmdagi informatsiyalarni uzatish hisobiga uning o'tkazish qobiliyatidan foydalanish samaradorligini oshirish masalasi yuzaga keladi. Bunga masalan, bitta optik tola bo'ylab qarama-qarshi yo'nalishdagi signallarni uzatish hisobiga erishish mumkin.

1.7-rasmda bir tolali, bir polosali, bir kabelli tolali optik aloqa tizimining tuzilish sxemasi ko'rsatilgan. OT ni bir to'lqin uzunligida ikkala yo'nalish signallari uchun qo'llanilishi, bu sxemaning xususiyati hisoblanadi.

OAQ — optik ajratuvchi qurilma, yorug'lik to'lqinlarining qutblanishini yoki optik nurlanishning yo'naltirilgan to'lqinlari turini ajratishni amalga oshiradi.

Qarama-qarshi ikki tomonlama signallarni uzatganda oqimlar orasida o'zaro o'tish shovqinlari hosil bo'ladi. O'tish shovqinlari OT va tarmoqlagichlardagi teskari sochilish, yorug'likni ulangan joylar va liniya oxiridagi ajraladigan ulagichlardan qaytishi natijasida vujudga keladi. Shovqin sathi va uning spektr tarkibi uzatilayotgan signalning uzatish tezligi, impuls formasi va liniya trakti parametrlari (optik tolaning so'nishi, to'lqin uzunligi, sonli apertura, sindirish ko'rsatkichlari)ga bog'liq.



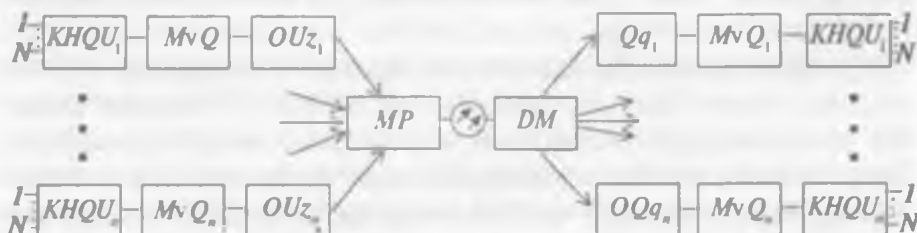
1.7-rasm. Bir tolali, bir polosali, bir kabelli TOAT sxemasi

To'liqin uzunligi 1,55 mkm va uzatish tezligi 35 Mbit/s dan yuqori bo'lsa, bir OTdan qarama-qarshi yo'nalishli signallarni uzatuvchi TOATda o'tish shovqinlari kam bo'lib, optimal ish rejimiga ega bo'ladi.

To'liqin uzunligi bo'yicha zichlashtirilgan (bir tolali, ko'p polosali, bir kabelli) TOATda bir optik tola bo'ylab bir vaqtda to'liqin uzunligi bo'yicha zichlashtirilgan bir necha optik tashuvchilar uzatiladi. Bunday tizimlarni tuzish, qo'llaniladigan spektr oralig'ida optik kabelning so'nish koeffitsiyentini optik tashuvchi chastotasi (yoki to'liqin uzunligi)ga nisbatan kam bog'liqligiga asoslanadi. Shuning uchun bir optik tola bo'ylab, axborotlarni uzatishning natijaviy tezligini oshirib, bir necha keng oraliqli optik kanallarni tashkil etish mumkin.

1.8-rasmda optik kanallari to'liqin uzunligi bo'yicha zichlashtirilgan TOATning tuzilish sxemasi ko'rsatilgan.

n KHQUdan signallar n optik uzatkich OUz ga uzatiladi. OUz chiqishidagi $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ to'liqin uzunlikli turli optik tashuvchilar multipleksor (MP) yordamida bir optik tolaga kiritiladi. Qabul qiluvchi stansiyada demultipleksor (DM) yordamida $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$



1.8-rasm. To'liqin uzunligi bo'yicha zichlashtirilgan TOATning tuzilish sxemasi

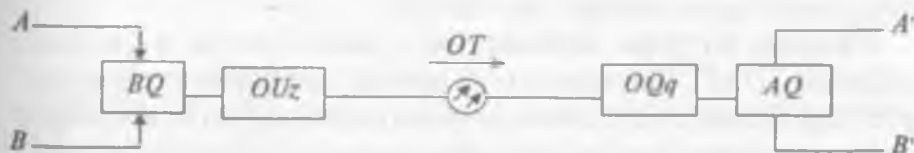
to'liqin uzunlikli turli optik tashuvchilar ajratiladi va optik qabul qilgich (OQq) ga beriladi. Shu tarzda, bir optik tola orqali n to'liqin uzunligi bo'yicha ajratilgan optik kanallar tashkil qilinadi, ya'ni o'tkazish qobiliyatidan samarali foydalanish koeffitsiyenti boshqa an'anaviy tuzilgan optik tizimlarning liniya traktiga nisbatan n marta oshadi. Optik tashuvchilarni birlashtirish va ajratish uchun turli optik spektral qurilmalar optik multipleksor va demultipleksorlar qo'llanilishi mumkin. Ularning ishi fizik optikaning dispersiya, difraksiya va interferensiya hodisalariga asoslangan. Optik multipleksor va demultipleksorlar optik prizma, ko'p qatlamli dielektrik, difraksion panjara asosida tuzilishi mumkin.

1.8. Tolali optik aloqa tizimi liniyasini zichlashtirish usullari

TOAT liniyalarining quyidagi zichlashtirish usullari mavjud: vaqt bo'yicha, chastota va to'liqin uzunligi bo'yicha.

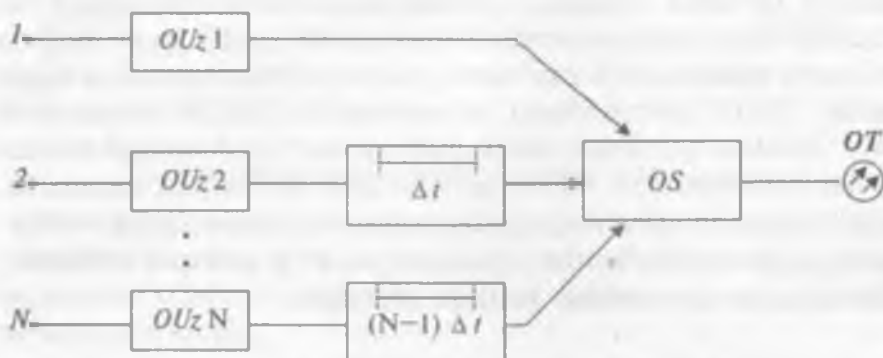
Vaqt bo'yicha zichlashtirish. Bu usulda bir necha informatsion oqimlarni bitta oqimga birlashtirish nazarda tutiladi. Birlashtirish elektrik signallar va optik signallar darajasida amalga oshirilishi mumkin. 1.9-rasmda elektr signallar darajasida vaqt bo'yicha zichlashtirilgan TOAT liniya traktining tuzilish sxemasi ko'rsatilgan

A va B kirishdan tushayotgan elektr signallarning ikki qism impulsarlari (N manba bo'lishi mumkin) birlashtiruvchi qurilma (BQ) yordamida vaqt bo'yicha aniq ketma-ketlikka ega guruhli signalga birlashtiriladi. Guruhli signal optik uzatkich (OUz) da optik tashuvchini modulyatsiyalaydi. Optik nurlanish (OT) bo'ylab tarqaladi va optik qabul qilgich (OQq) da qaytadan elektr signaliga o'zgartiriladi. So'ng bu signal ajratuvchi qurilma (AQ) yordamida A' va B' chiqishlariga beriladigan impulsarga ajratiladi.



1.9-rasm. Elektr signallar darajasida vaqt bo'yicha zichlashtirilgan TOATning liniya trakti

1.10-rasmda optik va raqamli oqimlarning birlashtirish sxemasi ko'rsatilgan.



1.10-rasm. Optik signallar darajasida vaqt bo'yicha zichlashtirilgan TOATning liniya trakti

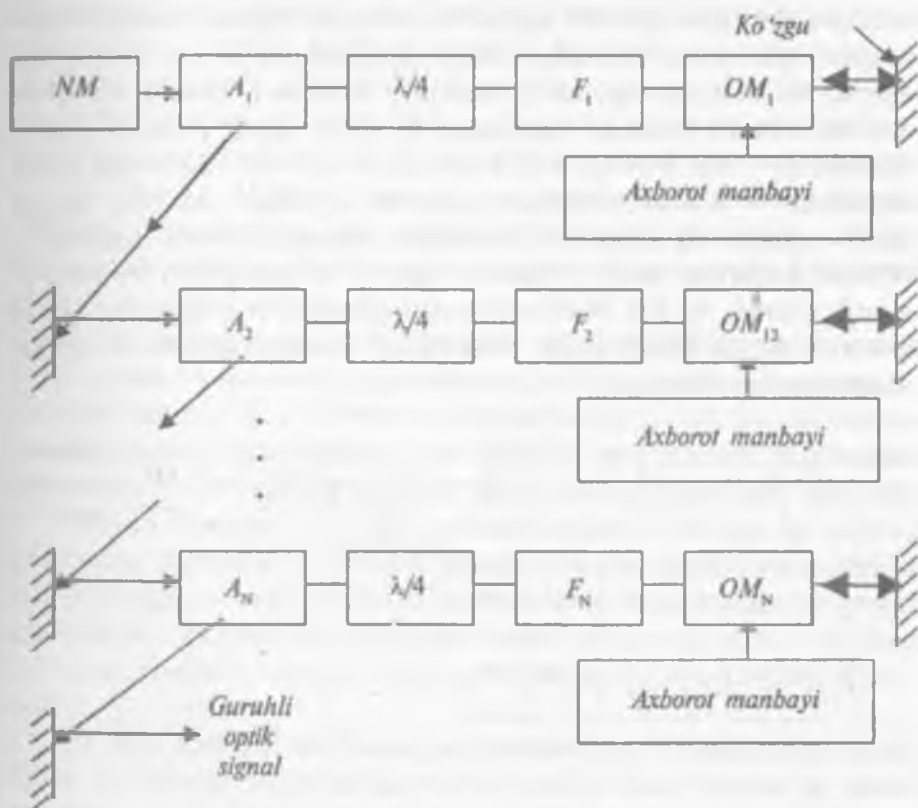
N manbadan elektrik raqamli oqimlar N optik uzatkich OUz ga tushadi. OUz da elektr signallar optik signallarga o'zgartiriladi. Optik signallarni birlashtirishdan oldin ularni Δt ; $2\Delta t$; $3\Delta t$; $(N-1)\Delta t$ ga kechikishi ro'y beradi. Bunday kechikishdan keyin optik siljtkich (OS) chiqishida optik impulslar ketma-ketligiga ega bo'lamiz. Qabul qilishda bunga teskari jarayon amalga oshiriladi.

Vaqt bo'yicha zichlashtirishda qisqa (10^{-9} C va undan kichik) yorug'lik impulslarini uzatish talab etiladi. Lekin subnanosekundli impulsarni uzatish TOAT uzatib qabul qiluvchi apparaturalarining optoelektron qurilmalarining oxirgi imkoniyatiga yaqin bo'lgan tezkorligiga juda yuqori talablar qo'yadi. Bundan tashqari, optik tolani dispersiya xususiyatlari tufayli uzatish tezligi, o'tkazish oralig'i ham chegaralangan. Vaqt bo'yicha zichlashtirishning asosiy afzalligi bu OT o'tkazish qobiliyatidan samarali foydalanish koeffitsiyentining ortishi va to'liq optik aloqa tarmoqlarini yaratish imkoniyatining mavjudligi hisoblanadi.

Chastota bo'yicha zichlashtirish. Chastota bo'yicha zichlashtiriladigan TOAT liniyalarida turli axborot manbalarining boshlan-g'ich signallariga aniq chastota oraliqlari ajratiladi. Bu holda guruhli liniya signallarini hosil qilish uchun yaqin joylashgan stabil optik tashuvchilar talab qilinadi. Biroq, ayniqsa yuqori tezlikli modulya-tsiyalashda yarimo'tkazgich lazerlarning nurlanish liniyalarining

nostabilligi qo'shni kanallarning ishchi to'lqin uzunliklari orasida spektr bo'yicha oraliqlarini informatsion signal oraliqlaridan bir necha marta oshib ketishiga olib keladi. Shuning uchun TOATda spektral yaqin joylashgan kanallarni hosil qilish uchun turli manbalarning turli tashuvchilaridan emas, balki optik tashuvchilarni surish yordamida bitta manbaning turli tashuvchilaridan foydalaniladi.

1.11-rasmda guruhli signallarning shakllanish sxemasi tasvirlangan. Qator $f_1, f_2, \dots, f_n$ tashuvchilardan iborat optik nurlanishlar lazer nurlanish manbayi (NM) chiqishidan analizator A_1 ga tushadi. So'ng chorak to'lqinli $\lambda/4$ prizmadan o'tib, birinchi kanalning F_1 filtriga uzatiladi. Bu filtr birinchi kanalning f_1 optik tashuvchisini (OM_1) optik modulyatoriga o'tkazadi va bunda u axborot manbayidan berilgan signal bilan modulyatsiyalanadi.

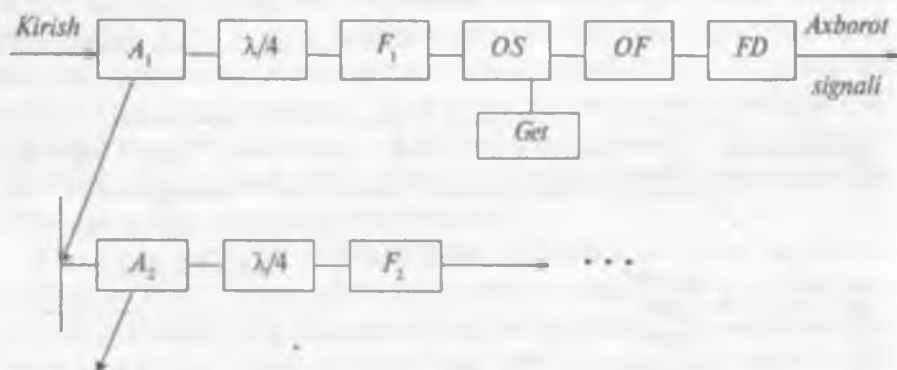


1.11-rasm. Chastota bo'yicha (geterodinli) zichlashtirishda guruhli optik signallarning shakllanish sxemasi

$f_1, f_2, \dots, f_n$ (f_p dan tashqari) chastotali optik nurlanish filtrdan aks etib, u ham A_1 analizatorga qaytadi. Yo'li bo'ylab u ikkinchi marta chorak to'liqlik $\lambda/4$ prizmadan o'tib, A_2 analizatorga tushadi. OM_1 optik modulyatorda informatsion signal bilan modulyatsiyalangan birinchi kanalning optik tashuvchisi ko'zgudan aks etib, A_1 analizatorga qaytadi.

Ikki martalab chorak to'liqlik $\lambda/4$ prizmadan o'tgan optik signalning qutblanish yuzasi boshlang'ich tebranishning qutblanish yuzasiga nisbatan $\pi/2$ ga buriladi.

Natijada yorug'lik to'plami prizmada bir tomonga yo'naladi va undan chiqadi. So'ng umumiy signal A_2 analizatorga tushadi va jarayon qaytariladi, faqatgina farqi bunda f_2 chastotali optik nurlanish modulyatsiyalanadi. Shu tarzda optik liniya traktida uzatiladigan optik guruhli signal shakllanadi. Qator modulyatsiyalangan optik tashuvchilardan iborat qabul qilinadigan optik guruhli signal, A_1 analizatorga kelib tushadi, so'ng esa chorak to'liqlik $\lambda/4$ prizma va birinchi kanalning F_1 filtri orqali o'tgach, optik siljiktichga (OS) beriladi (1.12-rasm), F_1 filtri F_1 chastotali optik signallarni o'tkazadi, boshqa chastotali signallar aks etib, A_2 ga kelib tushadi. A_1 chastotali modulyatsiyalangan optik tashuvchi (OS) da ko'payadi, so'ng f_{or} oraliq chastota OF oraliq filtri yordamida ajratib olinadi va FD fotodetektorga beriladi. FD chiqishida elektr axborot signali shakllanadi. Shu tarzda boshqa signallarni qabul qilish amalga oshiriladi.



1.12-rasm. Chastota bo'yicha (geterodinli) zichlashtirishda guruhli optik signallarni qabul qilish sxemasi

Chastota bo'yicha zichlashtirish usulining afzalligi shundaki, signallarni bunday qabul qilish hisobiga regeneratsiyalash uchastkasi uzunligi 200 km gacha uzayadi va optik tolaning o'tkazish qobiliyatidan samarali foydalanish ko'effitsiyenti ortadi.

Bu usulning kamchiligi shundaki, bunda qutblanishi saqlanadigan optik uzatish va qabul qilish traktlari, shuningdek, bir qator qo'shimcha qurilmalar, chastota surgichlar, optik ventillar, qutblanish nazoratgichlari, optik kuchaytirgichlar va boshqa qurilmalar talab etiladi. Bu TOATni murakkablashtiradi va narxini oshiradi.

To'lqin uzunligi bo'yicha zichlashtirish. Optik tolaning o'tkazish qobiliyatidan samarali foydalanish ko'effitsiyentini oshirishning istiqbolli yo'nalishlaridan biri to'lqin uzunligi bo'yicha zichlashtirishdir. 1.8 -rasmda to'lqin uzunligi bo'yicha zichlashtirish usuli tasvirlangan edi. Bunda liniya kabelidagi bir optik tola orqali ko'plab axborotlarni uzatish hisobiga sezilarli darajada iqtisodiy samaradorlikka erishiladi. Bundan tashqari, bu usul qo'shimcha qurilish ishlarisiz tarmoq rivojlanishini ta'minlash, shuningdek, tarmoqlangan daraxtsimon va halqali tarmoqlarni tuzish imkonini beradi. Bunda har xil tezlikli, raqamli va analog turli modulyatsiyali (telefon, televideniye, telemetriya, boshqarish) signallarni uzatish imkoniyati kengayadi. Bu esa iqtisodni tejoychi ko'p funksiyali aloqa tizimlarini tashkil etishni ta'minlaydi.

Optik tolaning spektral o'tkazish oralig'idan birmuncha to'liq foydalanish bu usulning eng muhim afzalliklaridan biri hisoblanadi. Hozirgi kunda 0,8...1,8 mkm diapazon oralig'i o'rganilgan. Agarda spektral kanalning kengligi 10 nm ni tashkil etsa, u holda belgilangan diapazonda 100 tagacha spektral kanallarni joylashtirish mumkin.

To'lqin uzunligi bo'yicha zichlashtirilgan TOATda so'nish va dispersiya qiymatlari kichik bo'lgan bir modali optik tolalar hamda quvvati yuqori lazer nurlanish manbalaridan foydalanish maqsadga muvofiqdir. Foydalaniladigan bir modali optik tola 1,5...1,6 mkm to'lqin uzunligida ishlashi va kvars shishasidan tayyorlangan bo'lishi kerak.

To'lqin uzunligi bo'yicha zichlashtirilgan TOATda uzatishda optik kanallarni birlashtirish uchun optik multipleksor va qabul qilishda optik kanallarni ajratish uchun optik demultipleksor ishlatiladi.

Panjara va prizmalı qurilmalar kanallarni parallel ajratuvchi, filtrlar va selektiv fotodiodli qurilmalar esa kanallarni ketma-ket ajratuvchi hisoblanadi.

To'liq uzunligi bo'yicha zichlashtiriladigan tizimlar tarkibiga kiradigan demultipleksorlarning tuzilishi, nurning teskari yo'nalishda tarqalishida spektral-sezgir multipleksorlarning tuzilishiga o'xshash.

Multipleksor va demultipleksorlar signallarning so'nishiga sezilarli ta'sir qiladi. Shuning uchun ular optik kuchaytirgichlar bilan birga qo'llaniladi.

1.9. Tolali optik aloqa tizimlarida axborotlar oqimining sinxronlash masalalari

1.9.1. Sinxronizatsiya haqida asosiy tushunchalar va uning turlari

Raqamli tolali optik aloqa tizimlarining uzatish va qabul qilish traktlari sinxron ishlashi kerak. Sinxronizatsiya TOATning normal ishlashini ta'minlovchi zaruriy shart hisoblanadi. Raqamli TOATda analog signallarni raqamli signallarga o'zgartirish uchun boshlang'ich analog signallar avval diskretlanadi, so'ng kvantlanadi va kodlanadi. Bu jarayonlar natijasida shakllangan raqamli ikkilik ketma-ketliklari OUz da optik signallarga aylantirilib, optik tolaga uzatiladi. Qabul qiluvchi punktda optik signallardan elektr signallariga o'zgartirilgan raqamli impulslar ketma-ketligi boshlang'ich ko'rinishda qayta tiklanishi kerak. U normal amalga oshishi uchun raqamli impuls-larining vaqt bo'yicha ketma-ketligi va vaqt intervallari, mahalliy taktli ketma-ketliklar bilan mos tushishi kerak.

Ikki raqamli ketma-ketliklar uch parametr bo'yicha sinxronizatsiyalanishi mumkin:

- tarmoq tuguniga tushish vaqti – t – vaqt bo'yicha sinxronizatsiya;
- interval davomiyligi τ yoki impulsning ketma-ketlik chastotasi – $f = 1/\tau$ *chastotali sinxronizatsiya*;
- boshlang'ich fazasi – *fazali sinxronizatsiya*.

Vaqt bo'yicha sinxronizatsiya masalasi globaldir, lekin agarda barcha tarmoqlar uchun *butun dunyo muvofiqlashtirilgan vaqt*

xizmati yoki yagona manba qo'llanilgan bo'lsa, yechimini osongina topadi.

Fazali sinxronizatsiya lokal va ma'lum fizik qurilma uchun dolzarb bo'lsa, fazani avtomatik sozlash tizimlarini ishlatish yo'li bilan yechimini topadi. Bu sozlash tizimlari boshlang'ich fazani taktli sinxronizatsiya stabil manbaning boshlang'ich taktiga bog'lash imkonini beradi.

Chastotali sinxronizatsiyalash masalasi bir vaqtda global va lokal bo'lib, buning ustiga murakkab ham. Shuning uchun sinxronizatsiya muammolari ko'proq chastotali sinxronizatsiya muammolariga talluqli. Quyida faqat chastotali (yoki taktli) sinxronizatsiya va u bilan bog'liq masalalarni ko'rib chiqamiz.

Shuningdek, TOATda raqamli ketma-ketliklar quyidagi parametrlar bo'yicha sinxronizatsiyalanishi kerak:

- freymlar/sikllar bo'yicha – freymli/siklli sinxronizatsiya, uning yo'qolishi avariya signalini (freym sinxronizatsiyasining yo'qolishini) yuzaga keltiradi;

- multifreym/yuqori sikllar bo'yicha – multifreymli/yuqori siklli sinxronizatsiya, uning yo'qolishi multifreym sinxronizatsiyasining yo'qolishi avariya signalini yuzaga keltiradi;

- freym ichidagi taktlar bo'yicha – taktli sinxronizatsiya, uning yo'qolishi taktli sinxronizatsiya signalining yo'qolishi avariya signalini yuzaga keltiradi.

Quyida faqat taktli sinxronizatsiyani ko'rib chiqamiz: agar raqamli tarmoq lokal bo'lsa, uning tugunlarida signallarning tarqalish vaqti farq qilmasligi, tarmoq sodda tuzilgan, yulduzcha topologiyali bir necha tugunlardan iborat, markaziy tugunda esa umumiy bo'lgan taktli tarmoq sinxronizatsiyasi manbayi o'rnatilgan bo'lishi mumkin. Uning taktlari barcha tugunlarga kechikishlarsiz uzatiladi, ya'ni bunday ideal tarmoqda sinxronizatsiya muammolari bo'lmaydi. Agar, o'zining sinxronizatsiya manbayiga ega bo'lgan bir necha bunday tarmoqlar bitta murakkab tarmoqqa birlashsa, u holda muammolar yuzaga keladi.

Uning to'liq holdagi sinxronizatsiyasi uchun har bir alohida tarmoqlarning taktli sinxronizatsiya manbalarining aniqligi bir xil va yuqori (masalan, 10^{-11} – 10^{-12}) bo'lishi kerak yoki bu tarmoq uchun yuqori barqarorli yagona taktli sinxronizatsiya manbayiga

ega bo'lgan maxsus sinxronizatsiya signallarini tarqalish tarmog'i (SST) qurilgan bo'lishi kerak.

Agar bu shartlarga rioya qilinmasdan, uzatuvchi va qabul qiluvchi tugunlarda taktli sinxronizatsiya manbalarining chastotalarida farq mavjud bo'lsa, u holda ma'lum vaqt ichida vaqt intervali xatoliklarining yig'ilishi yuzaga keladi.

Vaqt intervali xatoligi (VIX) raqamli ketma-ketliklar tugunida qabul qilinadigan n -impulsni tushish t_n va ushbu tugunning taktli sinxronizatsiya manbayi tomonidan n -impuls ketma-ketligini generatsiyalash t_g vaqtlarining farqiga teng. Bu farq taktli interval uzunligi bilan o'lchanadigan darajaga kelganda sinxronizatsiyaning buzilishi yuzaga keladi. Sinxronizatsiyaning buzilishi mahalliy taktli tarmoq sinxronizatsiyasi (TTS) manbayining nisbiy chastotasini qabul qilinadigan ketma-ketliklar chastotasidan yuqori yoki kichik bo'lishiga bog'liq holda, bir impuls (taktli interval)ning yo'qolishi yoki ortiqcha impuls (taktli interval)ning shakllanishidan hosil bo'ladi. Bu jarayon sirpanish yoki «slip» (slip) deyiladi. Sliplar ovoz va radiosignallarni uzatishda chirs-chirs tovushlarning hosil bo'lishiga olib keladi, ma'lumotlarni uzatishda esa aloqaning buzilishiga, ya'ni sinxron ma'lumotlarni uzatish tarmoqlarida xatoliklar sonining oshishiga olib keladi.

Bu holda sinxronizatsiya sifati, vaqt intervalining yig'ilgan xatoligi taktli sinxronizatsiyaning buzilishiga olib keladigan vaqt yoki sliplar chastotasi (vaqt birligi – minut, soat, sutkada ularning soni) bilan baholanishi mumkin.

Murakkab tarmoqni turli aniqlikdagi taymer/manba/generatorlardan sinxronizatsiyalanadigan, bir necha region/uchastkalardan tuzilishi mumkinligini e'tiborga olib, aniq sinxronizatsiya sifati va umumiy holda xizmat ko'rsatish sifatini ta'minlash maqsadida standartlarda belgilangan me'yorlarga ega bo'lish muhimdir.

1.9.2. Taktli sinxronizatsiya tarmoqlarida asosiy boshqarish sxemalari

Sinxronizatsiyaning asosiy masalalari va asosiy tushunchalari xalqaro elektraloqa ittifoqi (XEI) G.810 [6] tavsiyalarida berilgan, ular raqamli TOAT uchun dolzarbdir.

Taktli sinxronizatsiyaning maqsadi — birlamchi taktli interval uzunligi τ_0 yoki taktli chastota f_0 haqidagi axborotlarni bir tarmoqning barcha qurilma/tugunlariga yoki barcha o'zaro ta'sirlashuvdagi tarmoqlarga talab etiladigan aniqlikda uzatishdan iborat. Bu maqsadga erishish tarmoq operatoriga sinxronizatsiya manbayining berilgan aniqligi uchun tanlangan vaqt oralig'ida minimum yuzaga kelishi mumkin bo'lgan sliplar soni haqida axborotga ega bo'lish imkonini beradi. Bu barcha tarmoq tugunlarida eng yuqori sifatli saqllovchi manba yoki taymerni o'rnatish bilan barobar.

Ko'rsatilgan masalani soddalashtirish mumkin: tarmoqning markaziy tugunida bitta yuqori aniqlikli generatorni o'rnatish va boshqa tarmoq tugunlarida uning ko'rsatkichlarini translyatsiya qilish hamda ko'paytirish.

Buning uchun nafaqat yuqori aniqlikdagi birlamchi generatorga, balki ishonchli sinxronizatsiya signalini taqsimlovchi tizim (SSTT)ga ham ega bo'lish kerak.

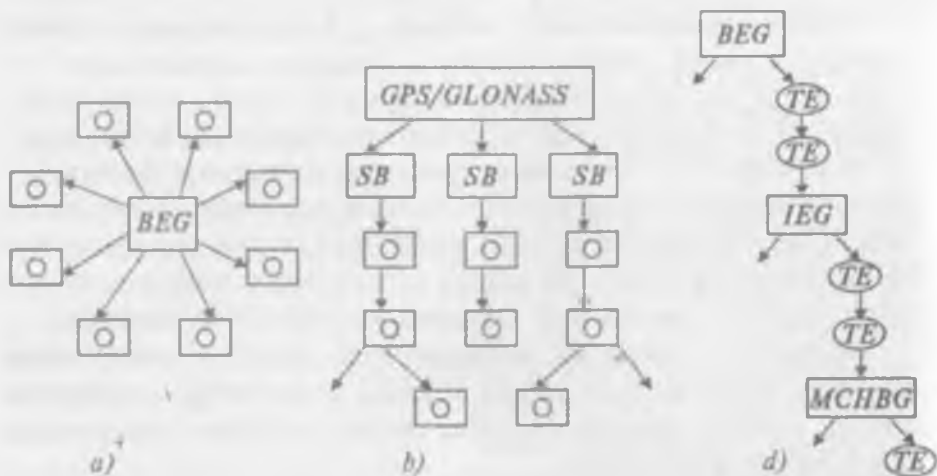
Agar tarmoq katta bo'lsa, u (sinxronizatsiya maqsadiga erishish uchun) bir necha regional tarmoqlarga bo'linishi mumkin, har bir regional tarmoqda birlamchi generator o'rnatiladi va sinxronizatsiya signalini taqsimlash xizmati tashkil etiladi. Bu tizim TTSning uch muqobil sxemalari bo'yicha tuzilishi mumkin (1.13-rasm):

- bir sathli yulduzcha sxemasi (1.13-a rasm), bunda tarmoqning hamma tugunlari taktli impulslarning (yulduzcha markazida joylashgan) birlamchi etalon generator (BEG) (uni birinchi sathli saqllovchi manba deb ataymiz) manbayi bilan ta'minlanadi;

- (O — tarmoqning sinxronizatsiyalanadigan tugunlari, SB — sinxronizatsiya bloklari, MChBG — mahalliy chastota beruvchi generator);

- bir sathli taqsimlangan sxema (1.13-b rasm), bunda har bir (yoki har bir ikkinchi) tarmoq tuguni BEG yoki uning ekvivalenti — BEG signallarini qabul qilgich (masalan, GLONASS yoki GPS tizim) bilan jihozlanadi;

- iyerarxik ko'p sathli sxema (1.13-d rasm)da BEG (iyerarxiyaning birinchi sathi) joylashtiriladigan, bazaviy nuqta aniqlanadi. BEG signallari daraxtsimon sinxronizatsiya tarmog'ining sinxronizatsiyalanadigan elementlari (SE) bo'ylab ikkilamchi iyerar-



1.13-rasm. Taktli tarmoq sinxronizatsiyasini tuzish usullari:
 bir sathli yulduzcha sxemasi (a), bir sathli taqsimlangan sxema (b),
 iyerarxik ko'p sathli sxema (d)

xiya sathigacha taqsimlanadi va ikkilamchi etalon generator (IEG)ni boshqaradi. O'z navbatida IEG (TEG-tarmoq elementlari generatori zanjiri orqali) iyerarxiyaning uchinchi sathi – lokal/mahalliy sinxronizatsiya manbalarini boshqaradi. Odatda, bu boshqarish sxemasi boshqaruvchi-boshqariluvchi (master-slave) sxema deyiladi.

1.9.3. Sinxronizatsiya manbalarining turlari haqida asosiy tushunchalar

1.14-rasmga muvofiq TTS tarmog'ida qo'llaniladigan generator/taymerlarning quyidagi turlariga ega bo'lamiz:

- **BEG** – birlamchi etalon generator (birlamchi taymer) XEIning G.811 [7] standarti talablariga mos keluvchi manba, 10^{-11} dan katta bo'lmagan chastotani saqlash aniqligiga ega va bir yoki bir necha birlamchi etalon manbalaridan tuzilgan;

- **BEM** – birlamchi etalon manba yoki birinchi sathning saqlovchi manbayi, u 10^{-11} dan katta bo'lmagan chastotani saqlash aniqligiga ega;

- **GPS/GLONASS** – birlamchi etalon datchik (birlamchi datchik) – GPS (AQSH) yoki GLONASS (Rossiya) etalon manba datchiklari bo'lib, BEG yoki IEG larning alternativ manbayi sifatida

qo'llaniladi, saqlash rejimida kuniga chastotani 10^{-10} dan katta bo'lmagan saqlash aniqligiga ega;

– IEG – ikkilamchi etalon generator (ikkilamchi taymer) XEIning G.812 standarti talablariga mos keluvchi [8] manba bo'lib, 10^{-9} dan katta bo'lmagan chastota saqlash aniqligiga ega, u BEG dan boshqariladi yoki avtonom rejimda ishlaydi va tranzit tugun taymeri (TTT) yoki mahalliy/lokal tugun taymeri ko'rinishida ishlab chiqiladi;

– MCHBG – mahalliy chastota beruvchi generator (uchinchi sathdagi saqlovchi manba), XEIning G.813 [9] standarti talablariga mos keluvchi manba bo'lib, 10^{-8} dan katta bo'lmagan chastota saqlash aniqligiga ega, bu maqsadda lokal tugun taymeri yoki mahalliy tugun taymeri (G.813 sinfidagi manba) qo'llaniladi;

– TSB – tarmoq sinxronizatsiyasi bloki – ikkinchi yoki uchinchi iyerarxiya sathida ishlatiladigan manba, $3 \cdot 10^{-10}$ dan $5 \cdot 10^{-8}$ gacha chastotani saqlash aniqligiga ega;

– TEG – tarmoq elementi generatori – tarmoq iyerarxiyasining to'rtinchi yoki oxirgi sathida ishlatiladi va ANSI T.1.101 Stratum 3 standarti talablariga mos keladi, $4,6 \cdot 10^{-6}$ dan katta bo'lmagan chastotani saqlash aniqligiga ega;

– SSTA – sinxronizatsiya signalini taqsimlash apparaturasi – sinxronizatsiya tizimlarining (BEG, IEG) oxirgi qurilmasi, u sinxronizasiyalanuvchi qurilmaga TTS signallarini uzatish uchun bir necha yuzlab standart interfeysli chiqishlarni ta'minlash imkonini beradi;

– SSO' – sinxronizatsiya signallarini o'zgartirgich, retayming (retimer) kartasi, bu qurilma 2048 kbit/s pleziokson raqamli iyerarxiya (PRI) oqimli signalga sinxron raqamli iyerarxiya (SRI) tarmog'i orqali o'tuvchi foydali yuklama ko'rsatkichlari ta'sirida buzilgan sinxronizatsiyaning boshlang'ich aniqligini qayta tiklash imkonini beradi.

Odatda, birlamchi taymer o'zida taktli impulslarni saqlovchi, atomli manbayini namoyon etib, chastotani saqlashning 10^{-14} – 10^{-12} dan katta bo'lmagan aniqligiga ega. U signallar bo'yicha qo'lda yoki avtomatik kalibrlanadi. So'ng SSTA bilan BEG signallari IEG ikkilamchi sinxronizatsiya manbalarini boshqarish uchun yerusti aloqa liniyalari bo'ylab tarqaladi.

1.9.4. Aniqlik parametrlari va etalon manbalarining asosiy xatoliklari

Etalon manbalar etalon sinxrosignallarning quyidagi majmuasini ta'minlaydi:

- 2048 kHz – XEIning G.703/13 [10] tavsiyalariga mos holda interfeysli va maskali sinxron chastota, ATS, PRI (PDH) va SRI (SDH) TOATlarining sinxronizatsiyasi uchun qo'llaniladi;

- 2048 kbit/s – XEIning G.703/9 [10] tavsiyalariga mos holda interfeysli va maskali sinxron oqimlarning signali yoki PRI (PDH), SRI (SDH) TOATlarini va multipleksorlash qurilmalarini sinxronizatsiyalash uchun qo'llaniladigan, retayming funksiyasini ishlatish bilan EI kirish signalidan olinadigan signal;

- 8; 64 kHz (yoki to'plamli 8/64 kHz) sinxron chastotalar, ular PRI (PDH) asosiy raqamli kanallari (ARK)ning sinxronizatsiyasi uchun qo'llanilishi mumkin;

- qo'shimcha sinxron chastotalar: 1; 5 va 10 MHz, turli raqamli qurilmalarning sinxronizatsiyasi uchun qo'llaniladi.

Etalon manbalar quyidagi aniqlik parametrlari va xatoliklar bilan xarakterlanadi, ular manbalarining sertifikatitsiyasi natijasida, TTS tarmog'ini ekspluatatsiyaga tushirishda va kelgusi nazoratlarda tekshirilishi kerak:

- sinxrosignal chastotasini saqlash aniqligi yoki chastotaning maksimal nisbiy nostabilligi – bu parametr BEG va BEM uchun me'yorlashtiriladi (bir haftadan kam kuzatish vaqtida 10^{-11} dan oshmasligi kerak);

- chastotaning maksimal sutkalik og'ishi – bu parametr IEG, MCHBG va TEG uchun me'yorlashtiriladi (IEG uchun kuniga $2 \cdot 10^{-10}$ dan, MCHBG uchun kuniga 10^{-9} dan [11] va TEG uchun kuniga 10^{-8} dan [12] oshmasligi kerak);

- tashqi sinxrosignal yo'qolgandan keyin chastotaning eslash aniqligi – bu parametr IEG, MCHBG va TEG uchun me'yorlashtiriladi (IEG uchun kuniga $5 \cdot 10^{-10}$ dan, MCHBG uchun kuniga 10^{-9} dan [11] va TEG uchun kuniga $5 \cdot 10^{-8}$ dan [12] oshmasligi kerak);

- egallash polosasi (tashqi sinxrosignal chastotalari) – bu parametr IEG, MCHBG va TEG uchun me'yorlashtiriladi (IEG

uchun 10^{-8} dan, MCHBG uchun $4,6 \cdot 10^{-6}$ dan [11] va TEG uchun $4,6 \cdot 10^{-6}$ dan [12] kam bo'lmashligi kerak);

– fazaning titrashi (jitter-jitter) – bu parametrlar BEG, BEM, IEG, MCHBG va TEG uchun me'yorlashtiriladi (manbalarining hamma turi uchun 2048 kbit/s va 2048 kHz chiqish signalida 0,05 EI oshmasligi kerak);

– chiqish signali fazasining uzluksizligi – bu parametrlar BEG, BEM, IEG, MCHBG va TEG uchun me'yorlashtiriladi (manbalarining hamma turi uchun 2048 kbit/s va 2048 kHz chiqish signalida 0,125 EI oshmasligi kerak);

– chiqish signali fazasining xususiy dreyfi – bu nisbiy parametrlar, quyidagi parametrlarni hisoblash/o'lchash orqali aniqlanadi, hisoblash formulalari XEI G.810 tavsiyasida [6] aniqlangan:

– vaqt intervali xatoligi;

– vaqt intervalining maksimal xatoligi;

– vaqt intervali deviatitsiyasi;

– chastotaning nisbiy og'ishi $\Delta f / fH$.

Quyida standartlardan olingan, sinxronizatsiya manbalari bilan bog'liq, keng qo'llaniladigan ba'zi tushunchalar keltirilgan:

– fazaning titrashi – taktli sinxronizatsiya signalining vaqt bo'yicha ideal holatiga nisbatan 10 Hz dan yuqori chastota bilan qisqa muddatli o'zgarishi;

– faza dreyfi (vander – wander) – taktli sinxronizatsiya signalining vaqt bo'yicha ideal holatiga nisbatan 10 Hz dan yuqori bo'lmagan chastota bilan uzoq muddatli o'zgarishi;

– egallash polosasi (hold – in range) – boshqariluvchi etalon generator chastotasi va boshqaruvchi manbaning nominal chastotasi orasidagi maksimal farqlanish, uning doirasida boshqariluvchi generator chastotani avtomatik sozlashni ta'minlashi mumkin;

– vaqt intervali xatoligi (VIX) – testlanuvchi generator shakllantirgan vaqt intervali va etalon generator shakllantirgan vaqt intervalining o'lchangan qiymatlari o'rtasidagi farq, yoki

$$VIX(t; \tau) = [T(t+\tau) - Tref(t)] - [Tref(t+\tau) - Tref(t)] = x(t+\tau) - x(t),$$

bunda: τ – kuzatish intervali;

– vaqt intervalining maksimal xatoligi VIX qiymatlari orasidagi (butun kuzatish intervali davomida $\tau = n\tau_0$) maksimal qiymat, u VIX diskretizatsiyasining n ketma-ket intervallarida – τ_0 o'lchani, hamma uchun $\tau < T$, bunda T – o'lchash davri;

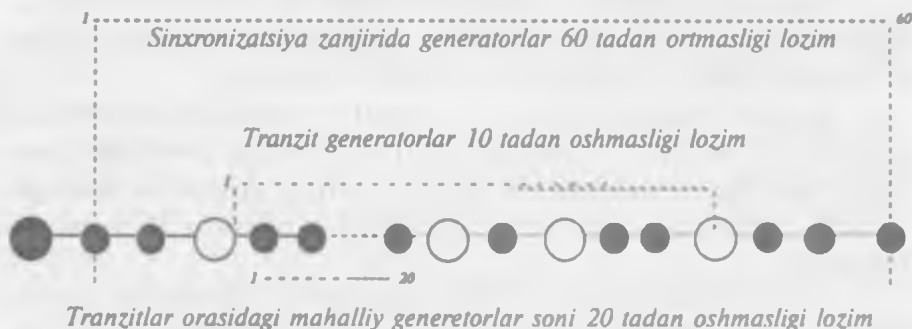
– vaqt intervali devitsiyasi – vaqt intervalining joriy qiymatini, uning o'rtacha qiymatidan og'ishining o'lchangan maksimal qiymati;

– chastotaning nisbiy og'ishi $\Delta f/f_n$ – signalning haqiqiy chastotasi f_h va signalning berilgan nominal chastotasi f_n o'rtasidagi farqni f nominal chastotaga f_n nisbati yoki $\Delta f/f_n = (f_h - f_n)/f_n$.

Butun raqamli aloqa tarmog'i doirasida umumiy taktli tarmoq sinxronizatsiyasi (TTS)ni yaratish sinxronizatsiya masalasining yechimli bo'lishi mumkin. O'zbekiston Respublikasi optik aloqa tarmoqlarida ham butun tarmoq bitta yagona BEGdan sinxronizatsiya bilan ta'minlangan. BEG zaxirasi sifatida IEG dan foydalaniladi. BEG rad etsa, IEG avtomatik tarzda ishga tushadi.

TTSning hamma tizimlari ish rejimi bo'yicha to'rt sinfga bo'linadi:

- sinxron, bunda sliplar umuman yuzaga kelmaydi;
- psevdosinxron, bunda 70 kunda 1 ta slip ruxsat etiladi;
- psevdosinxron, bunda 17 soatda 1 ta slip ruxsat etiladi;
- asinxron, bunda 7 soniyada 1 ta slip ruxsat etiladi.



1.14-rasm. Sinxronizatsiyaning etalon zanjiri

Nazorat savollari

1. Optik signallarning qanday xususiyatlarini bilasiz?
2. OAT elektr tizimlardan qanday xususiyatlari bilan farqlanadi?

3. OATlari qanday tasniflanadi?
4. TOAT qanday afzalliklarga ega?
5. OOATdan nega keng foydalanilmaydi?
6. Optik aloqa tizimining tuzilish prinsipini tushuntiring.
7. Ochiq optik aloqa tizimining tuzilish prinsipini tushuntiring.
8. Tolali optik aloqa tizimining tuzilish prinsipini tushuntiring.
9. Ikki tomonlama TOATlarini tuzishning qanday usullarini bilasiz?
10. Ikki tolali, bir polosali, bir kabelli TOATning tuzilish sxemasini tushuntiring.
11. Bir tolali, bir polosali, bir kabelli TOAT qanday tuzilgan?
12. To'liq uzunligi bo'yicha ajratilgan TOATning sxemasi qanday tuzilgan?
13. TOAT liniyalarini zichlashtirishning qanday asosiy usullarini bilasiz?
14. TOAT liniyalarini vaqt bo'yicha zichlashtirish usulini tushuntiring.
15. TOAT liniyalarini chastota bo'yicha zichlashtirish usulini tushuntiring.
16. TOAT liniyalarini to'liq uzunligi bo'yicha zichlashtirish usulini tushuntiring.
17. TOAT liniyalarini zichlashtirish usullaridan qaysi biri maksimal axborot sig'imiga ega?
18. TOATda sinxronizatsiyaning vazifasi nimadan iborat?
19. Sinxrosignal manbalarining qanday parametrlarini bilasiz?
20. Sinxrosignal tizimining qanday asosiy parametrlarini bilasiz?
21. Sinxronizatsiya parametrlari nima sababdan buziladi?
22. TOATda sinxronizatsiya tizimi qanday tuzilgan?

2-bob. OPTIK TOLA VA KABELLAR

2.1. Optik tola va uning tuzilishi

Tolali optik aloqa tizimida optik tebranishlarning tarqalishini chegaralovchi va yorug'lik energiyasi oqimini berilgan yo'nalishda yo'naltiruvchi, uzatish va qabul qilish traktlarini bog'lab turuvchi muhit *optik yorug'lik uzatkichlar* deyiladi. Optik yorug'lik uzatkichlarning tavsiflari qisman aloqa tizimining sifatini aniqlaydi. Shuning uchun TOATni loyihalashtirishda nurlanish tarqaladigan uzatuvchi muhit — optik yorug'lik uzatkichlarning tavsiflarini hisobga olish kerak.

TOATda maxsus optik yorug'lik uzatkichlar — optik tolalar (OT) qo'llaniladi.

Kichik so'nish koeffitsiyentiga ega bo'lgan optik yorug'lik uzatkichlar asosida optik signallarni uzoq masofalarga uzatishni ta'minlovchi optik kabellar yaratilgan.

Yorug'lik uzatuvchi optik tolalar o'zak va qobiqdan iborat bo'ladi. Ular qiymat bo'yicha bir-biriga yaqin turli sindirish ko'rsatkichlariga ega. O'zak uzatuvchi muhit, qobiq esa o'zi va o'zak orasida chegara hosil qiluvchi sifatida ishlatiladi. Bu chegara yorug'likni yo'naltiruvchi fizik kanalni shakllantirib, u orqali uzatilgan signalning tashuvchisi yorug'lik nuri tarqaladi.

Yorug'lik nurining faqatgina o'zak bo'ylab tarqalishini ta'minlash uchun (2.1-rasm) quyidagi shart bajarilishi kerak:

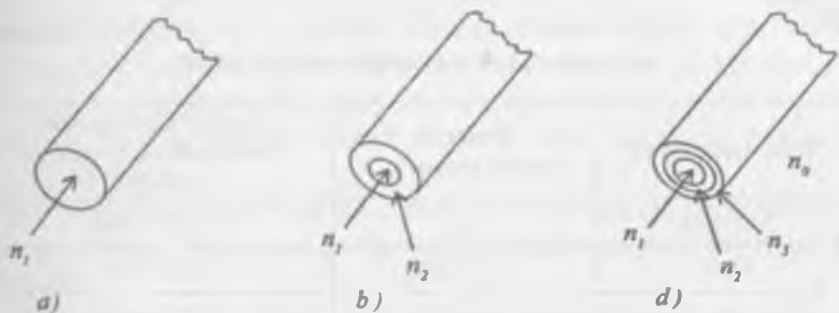
$$n_1 > n_2 > n_3 > n_0$$

bunda:

n_1 — o'zakning sindirish ko'rsatkichi;

n_2, n_3 — qobiqlarning sindirish ko'rsatkichlari;

n_0 — tashqi muhitning sindirish ko'rsatkichi [5].



2.1-rasm. Yorug'lik uzatuvchi optik tolalar

Optik yorug'lik uzatkichlarning sindirish ko'rsatkichi:

$$n = \sqrt{\epsilon \cdot \mu}, \quad (2.1)$$

bunda $\epsilon \cdot \mu$ — mos ravishda nisbiy dielektrik va magnit o'tkazuvchanlik.

Yoki sindirish ko'rsatkichi n , yorug'likning vakuumdagi tezligini (c) materialdagi yorug'lik tezligiga (c_m) nisbati orqali ifodalanadi:

$$n = c/c_m.$$

Har xil moddalardan yorug'lik turli tezliklarda tarqaladi. 2.1-jadvalda turli moddalarning sindirish ko'rsatkichlari va yorug'likning tarqalish tezliklari keltirilgan [2].

2.2-rasmda OTning tarkibiy qismlari tasvirlangan. OT uchun asosiy material juda toza va tiniq kvarts shishasi, kremniy ikki oksidi (SiO_2) hisoblanadi.

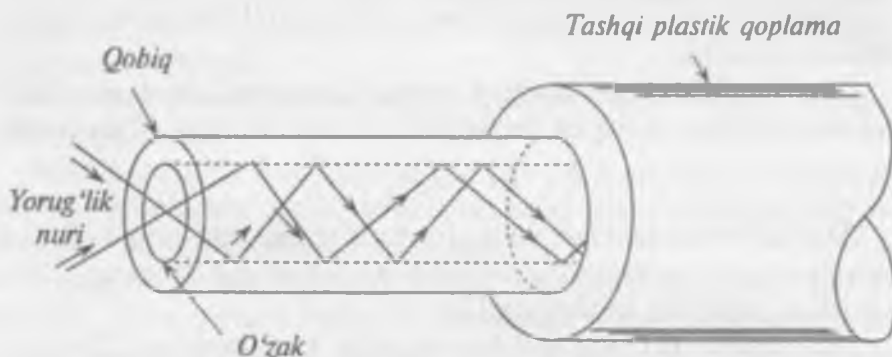
Agar dengiz suvi shunchalik tiniq bo'lsa, u holda Tinch okeanida joylashgan 33,177 futli Mariana cho'kmasining eng chuqur joyini ko'rish mumkin bo'lardi [2].

O'zak va qobiqning kerakli sindirish ko'rsatkichlarini olish uchun kvarts shishasiga qo'shimchalar qo'shiladi. Masalan; germaniy va fosfor sindirish ko'rsatkichini oshiradi, bor va flor esa aksincha uni kamaytiradi.

Tolaning qo'shimcha qobiqlari himoya qobig'i hisoblanadi. 2.2-rasmda optik tolaning tuzilishi ko'rsatilgan [14]. Tashqi plastik qoplama optik tolaning xususiyatlariga ta'sir etuvchi mexanik va atrof-muhit ta'sirlaridan uni himoya qiladi.

Turli materiallarning sindirish ko'rsatkichlari

Materiallar nomi	Sindirish ko'rsatkichlari, n	Yorug'likning turli materiallardagi tezligi, km/sek
Vakuum	1,0	300 000
Havo	1,0003(1)	300 000
Suv	1,33	225 000
Kvars	1,46	205 000
Shisha	1,5	200 000
Olmos	2,5	120 000



2.2-rasm. Optik tolaning tuzilishi

2.2. Optik tola turlari va ularning tavsiflari.

Bir modali va ko'p modali optik tolalar. Pog'onali, gradiyentli va maxsus sindirish ko'rsatkichli optik tolalar

To'lqin uzunligiga nisbatan o'zak diametriga bog'liq ravishda optik tolalar bir modali va ko'p modaliga bo'linadi. Bir modali optik tolalarda ko'pincha o'zak diametri 7 – 10 mkm (2.3-a rasm), ko'p modali optik tolalarda esa 50 – 62,5 mkm (2.3-b rasm) bo'ladi. Ikkala turda qobiq diametri 125 mkm ni tashkil etadi. Amaliyotda ko'p modali va bir modali optik tola diametrlarining boshqa qiy-matlari ham mavjud. Bir modali optik toladan faqat bir moda

(yorug'lik tashuvchi) uzatiladi. Ko'p modali optik toladan esa apertura burchagi doirasida tolaga turli burchaklar ostida kiritiladigan bir necha yuzlab ruxsat etilgan modalarni bir vaqtda uzatish mumkin. Barcha ruxsat etilgan modalar turli tarqalish yo'nalishi va vaqtiga ega.

Ko'p modali optik tolalar sindirish ko'rsatkichi ko'rinishi bo'yicha pog'onali (2.4-a rasm) va gradiyent (2.4-b rasm) [14] tolalarga bo'linadi.

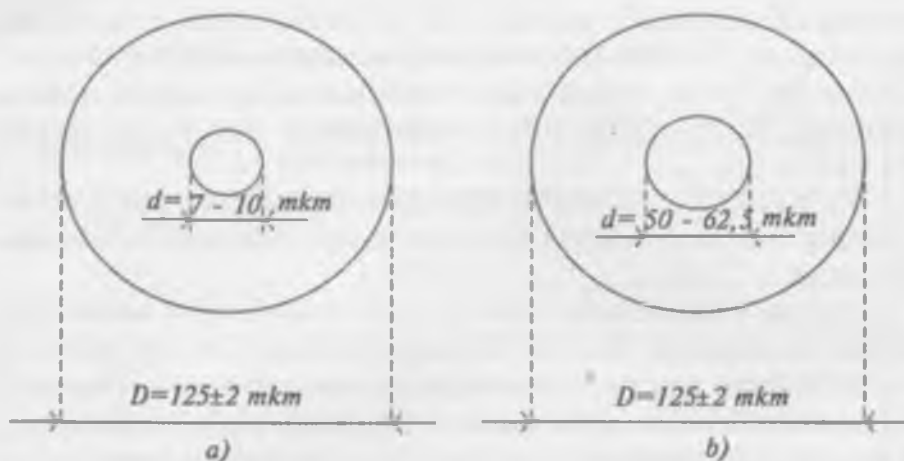
Pog'onali sindirish ko'rsatkichli ko'p modali optik tolalar ikki muhit chegarasida sindirish ko'rsatkichlarining keskin (pog'ona ko'rinishida) o'zgarishi (n_1 dan n_2 ga) bilan xarakterlanadi. Pog'onali sindirish ko'rsatkichli optik tolalar o'tkazish polosasini chegaralaydi, lekin gradiyent sindirish ko'rsatkichli optik tolalarga nisbatan arzon hisoblanadi.

Gradiyent sindirish ko'rsatkichli ko'p modali optik tolalar pog'onali sindirish ko'rsatkichli tolalarga qaraganda ravon sindirish ko'rsatkichi va modalararo dispersiyaning kamayishi bo'yicha yuqori texnik ko'rsatkichlarga ega. Chunki gradiyent sindirish ko'rsatkichli optik tolada modalarning tarqalish tezligi (dispersiyasi) bir-biridan juda ham katta farq qilmaydi. Dispersiya impulslarning kengayib ketishi va uzatilayotgan signallarning buzilishiga olib keladi. Shuning uchun hozirda gradiyent sindirish ko'rsatkichli ko'p modali optik tolalar keng tarqalgan.

Gradiyent sindirish ko'rsatkichli ko'p modali optik tolalarning eng asosiy kamchiligi ularning qimmatliligi va ishlab chiqarishning murakkabligidir.

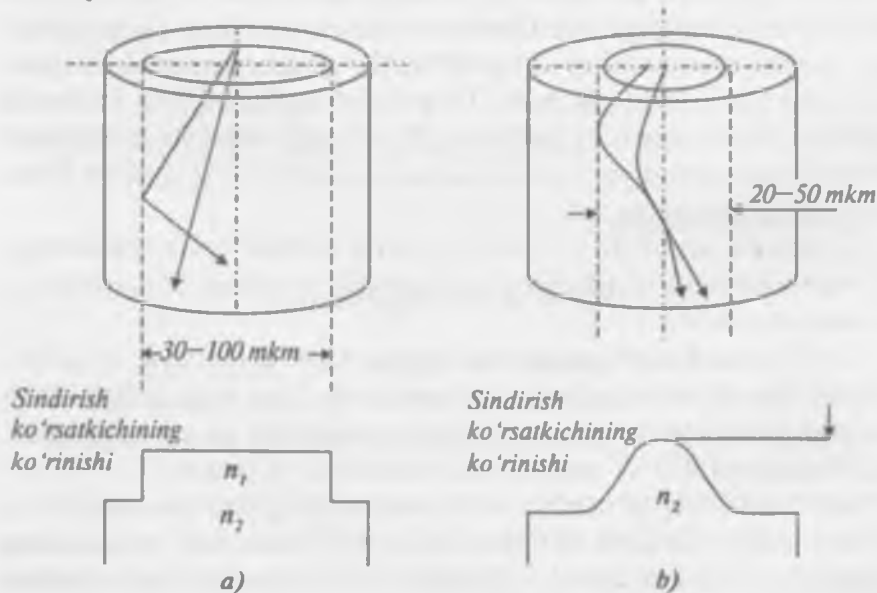
Ko'p modali optik tolalarda modalararo dispersiya o'tkazish polosasi va aloqa masofasini chegaralaydi. Shuning uchun ko'p modali optik tolalar, asosan, lokal tarmoqlarda va nisbatan past tezlikli raqamli TOAT signallarini uzatishda ishlatiladi.

Bir modali optik tolalardan magistral aloqa tarmoqlarida foydalaniladi. Chunki bir modali optik tolalarda modalararo dispersiya yuzaga kelmaydi, shuning uchun signallar ko'p modali rejimga qaraganda kam buzilish bilan uzatiladi. Ya'ni, bir modali optik tolalardan foydalanish o'tkazish qobiliyatini oshiradi, lekin uzatuvchi qismda birmuncha qimmat bo'lgan lazer diodlardan foydalanish talab etiladi.



2.3-rasm. Bir modali (a) va ko'p modali (b) optik tolalarning ko'ndalang kesimi

Tuzilishi



2.4-rasm. Pog'onali (a) va gradiyentli (b) ko'p modali optik tolalarning tuzilishi va sindirish ko'rsatkichi ko'rinishlari

2.5-rasmda turli tolalar bo'ylab optik signallarning tarqalishi tasvirlangan [1].

Sindirish ko'rsatkichlariga qarab bir moddali optik tolalar pog'onali (to'g'riburchakli) va maxsus turdagi uch tishli, W ko'rinishdagi tolalarga bo'linadi (2.6-rasm) [3].

Bir moddali optik tolalar dispersiya qiymatlari bo'yicha ushbu turlarga bo'linadi:

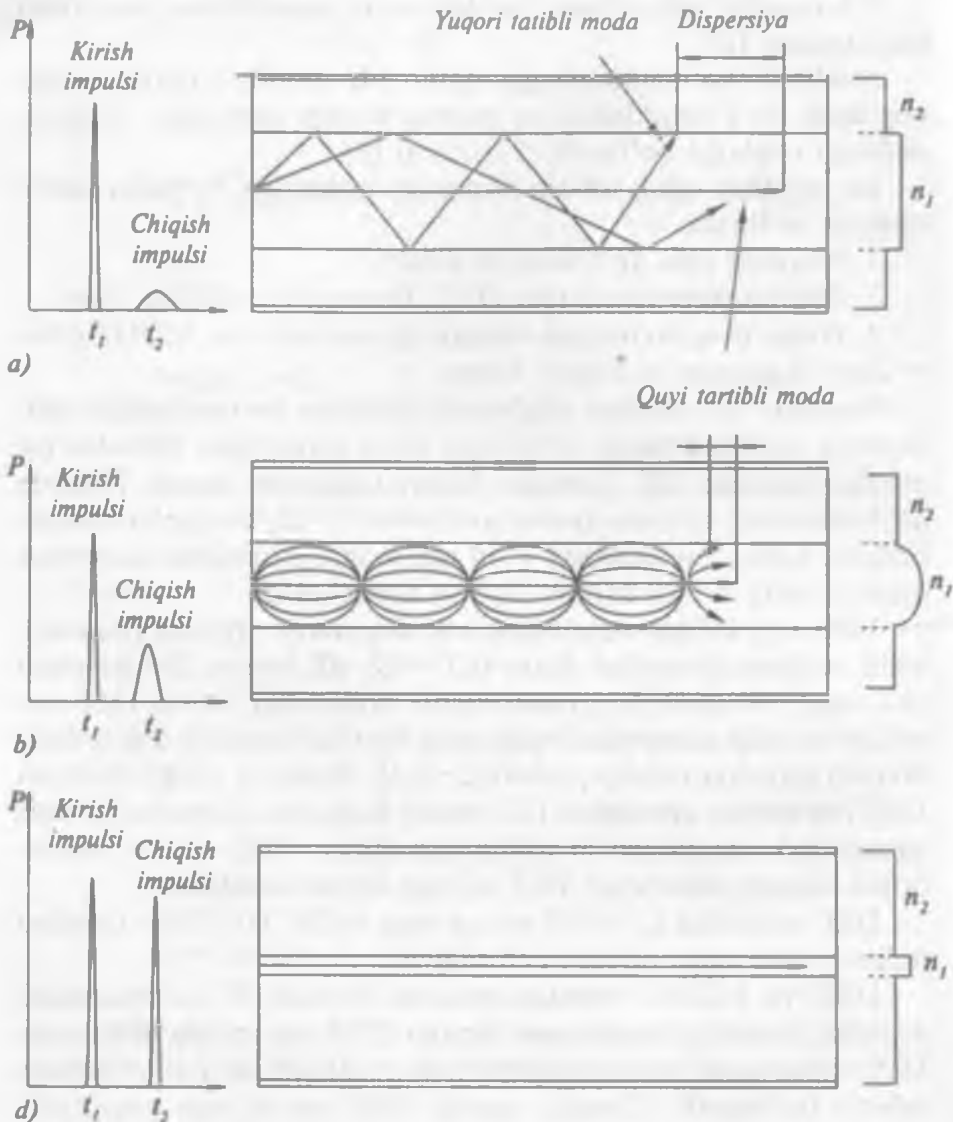
1. Standart tola *SF* (*Standart Fiber*).
2. Siljigan dispersiyali tola *DSF* (*Dispersion — Shifted Fiber*).
3. Nolga teng bo'lmagan siljigan dispersiyali tola *NZDSF* (*Non — Zero Dispersion — Shifted Fiber*).

Standart SF tolalari pog'onali sindirish ko'rsatkichiga ega. Statistik ma'lumotlarga ko'ra eng ko'p yotqizilgan kabellar bir moddali standart SF (Standart Fiber) tolalardan iborat. Hozirda SF tolalarining so'nish qiymatlari 0,18–0,19 dB/km gacha kamaytirilgan. Lekin, bu tolalarda 1550 nm to'lqin uzunligida dispersiya qiymati katta 17–20 ns/nm · km ni tashkil etadi.

1300 nm to'lqin uzunligida esa dispersiya qiymati minimal, lekin so'nish qiymatlari katta 0,35–0,5 dB/km ni tashkil etadi (2.7-rasm). Dispersiya qiymati kichik bo'lganligi uchun 1300 nm to'lqin uzunligi dispersiyasi nolga teng 10 to'lqin uzunligi deb ataladi. So'nish qiymatlari kichik, ya'ni 0,2–0,25 dB/km ni tashkil etadigan 1500 nm to'lqin uzunligida (2.7-rasm) dispersiya qiymatlarini ham kamaytirish maqsadida 10 to'lqin uzunligini 1550 nm ga siljitish orqali siljigan dispersiyali DSF tolalari ishlab chiqilgan.

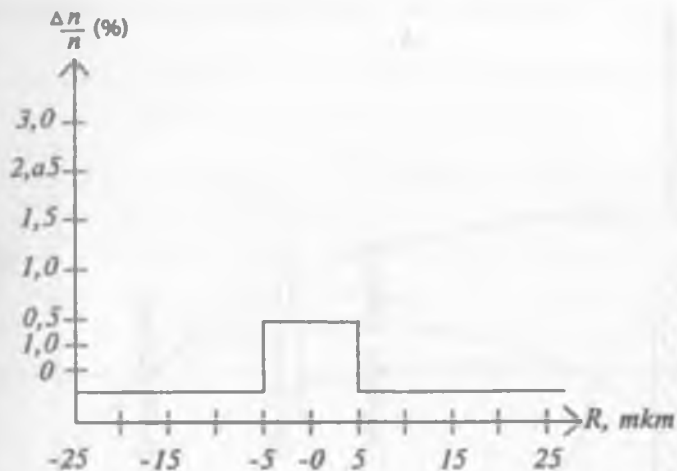
DSF tolalarida $\lambda_0 = 1550$ nm ga teng bo'lib, bu to'lqin uzunligi nolinchi dispersiya nuqtasi deb olingan.

DSF va NZDSF tolalari maxsus turdagi W ko'rinishdagi sindirish ko'rsatkichlariga ega. Ammo 1550 nm to'lqin uzunligida DSF tolalarida to'lqin uzunligi bo'yicha zichlashtirish usulini amalga oshirib bo'lmaydi. Chunki, agarda 1550 nm to'lqin uzunligida to'lqin uzunligi bo'yicha zichlashtirish usulini qo'llasak, bu to'lqin uzunligi atrofida parazit optik kanallar, ya'ni nochiziqli effektlar hosil bo'ladi. Buni bartaraf etish va to'lqin uzunligi bo'yicha zichlashtirish usulini qo'llash uchun nolinchi 10 to'lqin uzunligini 1520 nm dan 1560 nm gacha surib, nolga teng bo'lmagan siljigan dispersiyali NZDSF tolalari hosil qilingan.

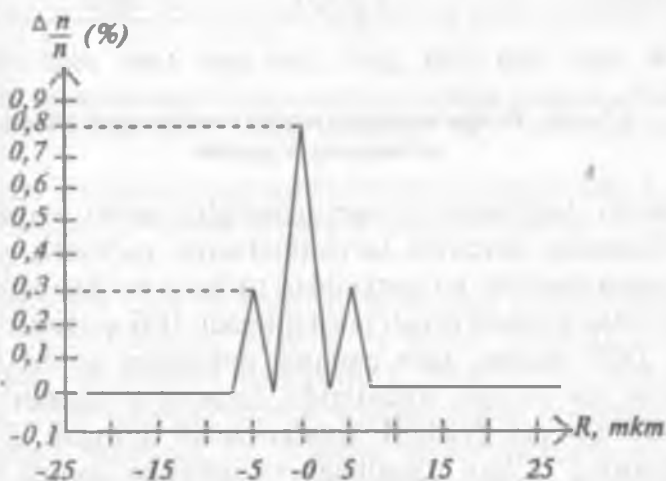


2.5-rasm. Turli optik tolalardan yorug'lik nurining tarqalishi va ularning sindirish ko'rsatkichlari ko'rinishlari:

- a* – ko'p modali, pog'onali sindirish ko'rsatkichli optik tola;
- b* – ko'p modali, gradiyentli sindirish ko'rsatkichli optik tola;
- d* – bir modali, pog'onali sindirish ko'rsatkichli optik tola



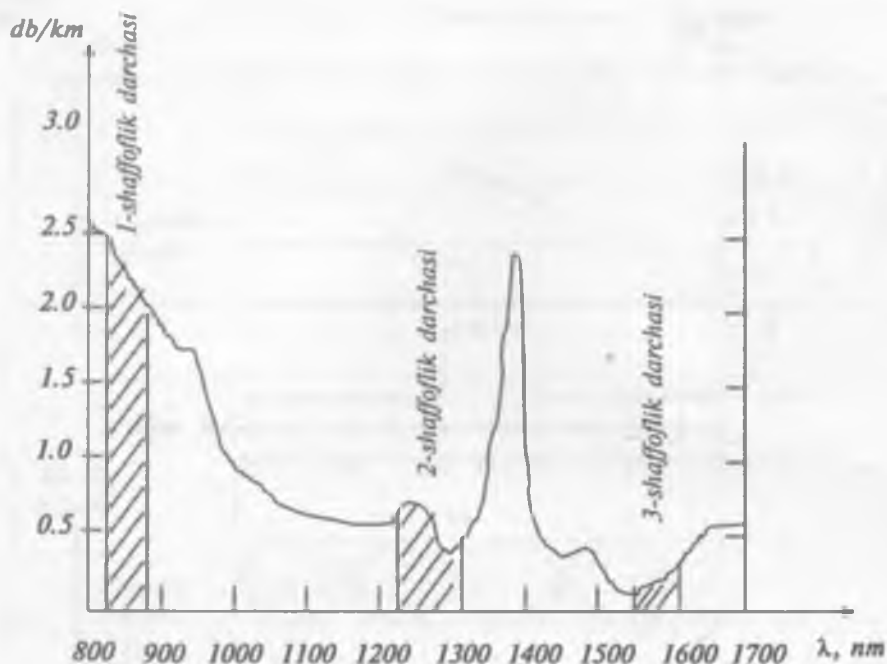
a)



b)

2.6-rasm. Bir modali optik tolaning sindirish ko'rsatkichlari:

- a – pog'onali sindirish ko'rsatkichli bir modali standart (SF) optik tola;
- b – maxsus uch tishli, W ko'rinishga ega sindirish ko'rsatkichli, dispersiyasi nolga siljigan bir modali optik tola



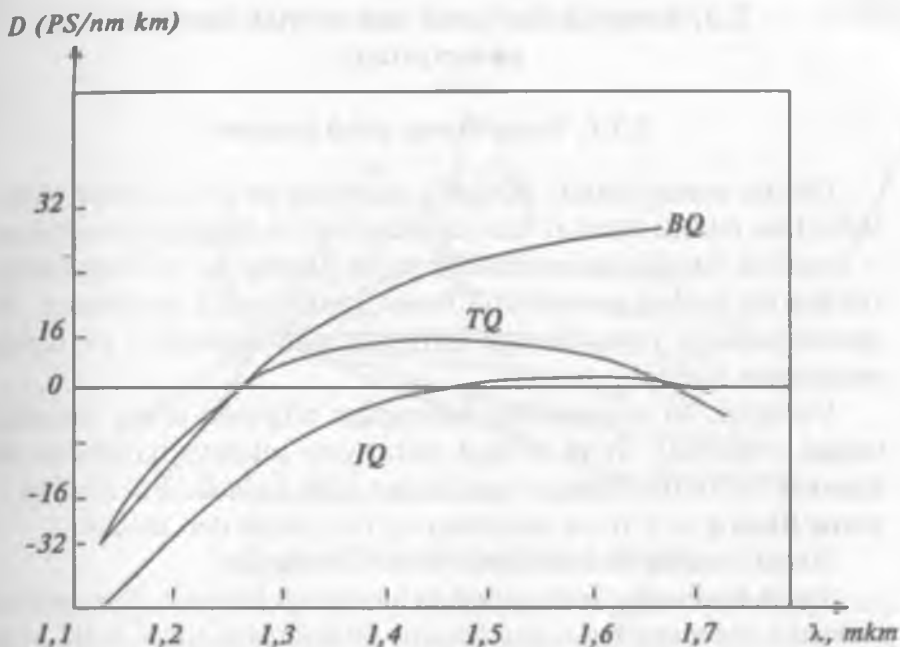
2.7-rasm. To'liqin uzunligiga bog'liq ravishda optik toladagi so'nishning o'zgarishi

Nolinchi dispersiyali to'liqin uzunligini surish maxsus turdagi W ko'rinishdagi sindirish ko'rsatkichlarini qo'llash, ya'ni optik tola o'zagini sindirish ko'rsatkichlari turlicha bo'lgan ko'p qatlamli qobiqlar bilan qoplash orqali hosil qilinadi. Ikki qatlamli qobiqlarni qo'llab, DSF tolalari, to'rt qatlamli qobiqlarni qo'llab, 1300 nm dan 1650 nm to'liqin uzunligida dispersiya qiymati $|D|=1-6$ ps/nm.km bo'lgan NZDSF tolalari hosil qilingan. 2.8-rasmda dispersiyaning to'liqin uzunligiga va qobiqlar soniga bog'liqligi tasvirlangan [1].

Hozirgi kunda «Korning», «Lyusent Texnologiz», «Alkatel», firmalarining standart bir modali tolalari keng tarqalgan.

NZDSF tolalarida esa $\lambda = 1550$ nm da dispersiya noldan farqli, ishorasi bir xil va $2 - 4$ ps/nm.km dan kichik bo'lmisligi kerak.

Hozirgi kunda «Korning» firmasi SMF – LS, LEAF, «Lyusent Texnologiz» True Wave deb belgilangan NZDSF tolalarini ishlab



2.8-rasm. Dispersiyaning to'liqin uzunligi va qobiqlar soniga bog'liqligi:

BQ — birinchi qobiq; IQ — ikkinchi qobiq; TQ — to'rtinchi qobiq

chiqarmoqda. Dispersiya qiymati kichik bo'lganligi uchun bu tolalar to'liqin uzunligi bo'yicha zichlashtirilgan uzatish tizimlarida qo'llaniladi.

Bir tashuvchili DSF — nolga teng bo'lgan siljigan dispersiyali tolalardan SDH (asosan, STM-6 va undan yuqori) tizimlarda foydalaniladi. «Fujikura» firmasining DSM 8/125, «Korning» firmasining SMF-DS shu turdagi tolalari ishlab chiqarilgan.

Bir modali standart SF tolalari qo'llanilganda, dispersiya qiymatini kamaytirish kerak. Dispersiyani kamaytirish, regeneratsiyalash seksiyasi uzunligini oshirish, 2,5 Gbit/s tezlikdan yuqori 10 Gbit/s tezlikka o'tish, shuningdek, to'liqin uzunligi bo'yicha zichlashtirish usullaridan foydalanilganda dispersiyani kompensatsiya qiluvchi — DCF (Dispersion Compensating Fiber) tolalarni yoki dispersiyani kompensatsiya qiluvchi modullarni DCM (Dispersion Compensating Module) qo'llash kerak. Dispersiyani kompensatsiya qilish usullari quyida batafsil yoritilgan.

2.3. Yorug'likning optik tola bo'ylab tarqalish qonuniyatlari

2.3.1. Yorug'likning sinish jarayoni

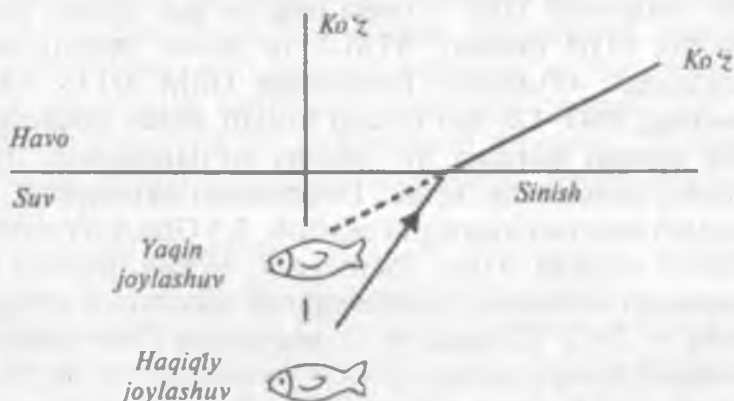
Optika qonuniyatlari yorug'lik nurining to'g'ri chiziqli tarqalishi, tola muhiti bilan o'zaro ta'sirlashuvi va izotroplik xususiyati — muhitda barcha yo'nalishlarda yorug'likning bir xil tarqalishiga (shisha bir turdagi va izotrop muhit hisoblanadi) asoslangan. Bu qonuniyatlarga yorug'likning qaytish/sinish qonunlari va ularga asoslangan hodisalar talluqli.

Yorug'lik bir materialdan boshqasiga o'tganda uning tarqalish tezligi o'zgaradi, ya'ni to'lqin nazariyasi nuqtayi nazaridan bu harakat yo'nalishining o'zgarishiga olib keladi. Bu hodisa — yorug'likning to'g'ri yo'nalishdan og'ishi *sinish* deb ataladi.

Sinish hodisasini misollarda ko'rib chiqamiz.

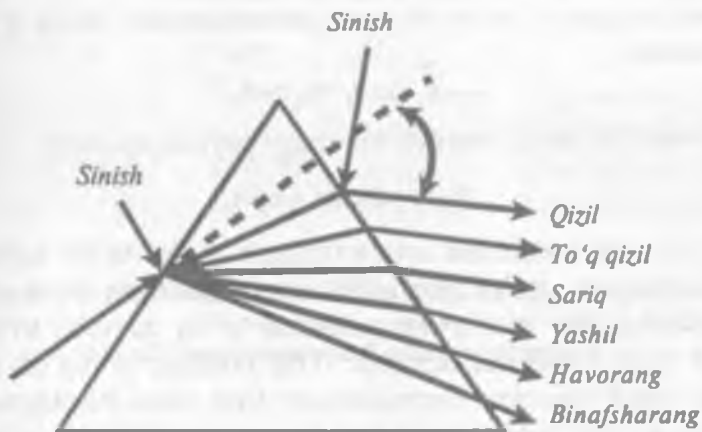
Sinish hodisasiga baliq ovlashda ham duch kelinadi. Suv ostidagi baliqni ko'rganimizda, uning haqiqiy joylashuvini emas, balki unga yaqin joylashuvini ko'ramiz (2.9-rasm).

Agar baliqqa pastga vertikal qarasak, yorug'likning sinishi ro'y bermaydi va baliqning asl joylashgan joyini ko'ramiz. Agar unga burchak ostidan qarasak, sinish hisobiga asl joylashgan joyini ko'rmaymiz, bunda baliq nazaramizdagi ko'rinishdan chuqurroqda joylashgan bo'ladi [2].



2.9-rasm. Yorug'likning sinishi

Sinish hodisasini prizmada ham ko'rish mumkin (2.10-rasm).



2.10-rasm. Prizmada yorug'likning sinishi

Prizmaga oq yorug'lik tushirilganda, prizma bu yorug'likni sindiradi va kamalakning turli ranglariga ajraladi. Qizil rang eng kuchli og'adi va kichik tarqalish tezligiga ega. Sinish prizma kirishida bo'lganidek, chiqishida ham hosil bo'ladi [2].

Optik toladan signallarning uzatilishida ham yuqorida ko'rib chiqilgan sinish hodisasi ro'y beradi. Bu quyida batafsil tushinirilgan.

2.3.2. To'liq ichki qaytish

Yorug'lik nuri sindirish ko'rsatkichi katta muhitdan sindirish ko'rsatkichi kichik muhitga o'tganda, ikki muhit chegarasida nur 2.11-rasmda tasvirlangandek perpendikulyardan og'adi. Tushish burchagi θ_1 kichik bo'lganda (2.11-a rasm), singan nur to'liq qobiqqa o'tib ketadi.

Tushish burchagini oshirgan sari sinish burchagi θ_2 900 ga intiladi. Sinish burchagi $\theta_2=900$ ga teng bo'lgan holdagi tushish burchagi — kritik burchak θ_{kr} deyiladi. Yorug'lik nuri kritik burchak θ_{kr} ostida tushganda, singan nur ikki muhit chegarasi bo'ylab tarqaladi (2.11-b rasm). Yorug'lik nuri kritik burchakdan katta burchak ostida tushganda, nur ikkinchi muhitga o'tmasdan, ikki

muhit chegarasidan to'liq qaytadi (2.11-d rasm). Bunda tushish burchagi sinish burchagiga teng $\theta_1 = \theta_2$ bo'ladi.

Snellius qonuni bo'yicha tushgan va qaytgan nurlar o'rtasidagi munosabat:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

$\theta_2 = 90^\circ$ da kritik tushish burchagi quyidagiga teng:

$$\theta_{kr} = \arcsin (n_2/n_1). \quad (2.2)$$

θ_{kr} dan katta burchak ostida tushgan nurlar to'liq qaytadi.

Bu jarayon, ya'ni yorug'lik energiyasining turli sindirish ko'rsatkichli ikki muhit chegarasidan to'liq qaytishi to'liq ichki qaytish (TIQ) hodisasi deyiladi. TIQ hodisasi yorug'lik uzatkich bo'ylab optik signallar tarqalishining fizik asosi hisoblanadi. Uni amalga oshirish uchun optik tola o'zagining sindirish ko'rsatkichi n_1 qobiqning sindirish ko'rsatkichi n_2 dan katta bo'lishi kerak.

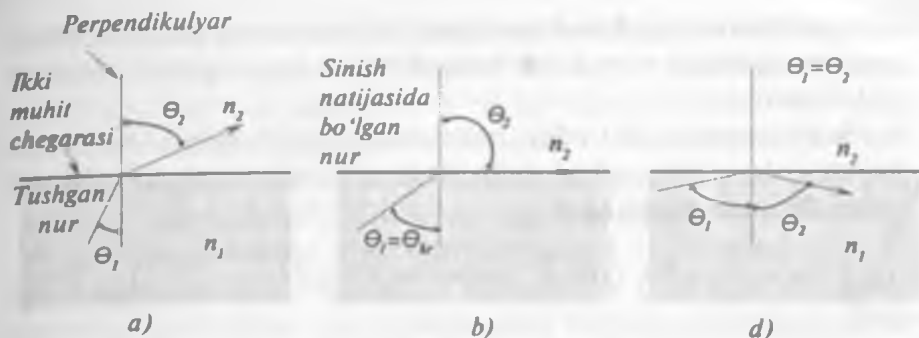
O'zak va qobiq tayyorlanadigan materiallarning sindirish ko'rsatkichlari nisbatini optimal tanlash orqali yorug'lik nurining o'zak ichida to'liq ichki qaytishi ro'y beradi va nurni faqatgina optik tola o'zagi bo'ylab zigzagsimon tarqalishi ta'minlanadi.

Masalan, optik tola uchun xos bo'lgan $n_1=1,48$, $n_2=1,46$ bo'lsa, u holda (2.2) qo'llab, kritik tushish burchagini aniqlash mumkin:

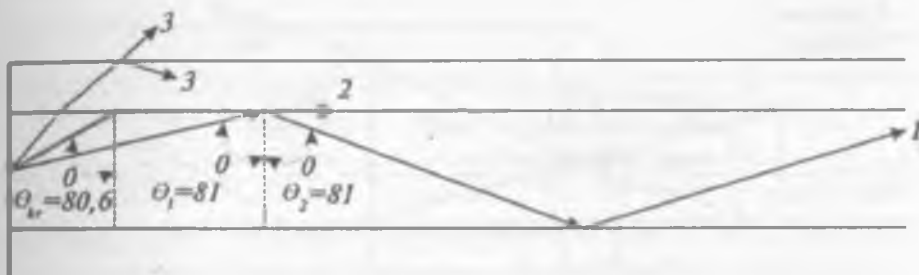
$$\theta_{kr} = \arcsin (1,46/1,48) = \arcsin(0,9864) = 80,6^\circ.$$

Shunday sindirish ko'rsatkichlari nisbatiga ega, kritik tushish burchagi $\theta_{kr}=80,6^\circ$ ga teng, tushish burchagi θ_2 esa $\theta_{kr}=80,6^\circ$ dan katta, masalan $\theta_2=81^\circ$ bo'lganda, nur ikkinchi muhitga o'tmay, boshlang'ich muhitda to'liq ichki qaytadi. Optik tola bo'ylab signallarning tarqalishi ana shu prinsipga asoslangan. Ana shunday sindirish ko'rsatkichlari, kritik chastota va tushish burchagi qiymatlariga ega optik tola orqali optik signallarning tarqalishi 2.12-rasmda ko'rsatilgan.

2.12-rasmda kritik burchakdan katta burchak ostida $\theta > \theta_{kr}$ o'zak-qobiq chegarasiga tushgan nurlar (nur 1) chegarada to'liq ichki qaytadi. Tushish va sinish burchaklari teng $\theta_1 = \theta_2$ bo'lganligi uchun, nur (1) takroriy qaytishlarga uchrab, o'zak muhiti bo'ylab zigzaksimon tarqaladi.



2.11-rasm. Bir necha tushish burchaklari uchun nurning tarqalish yo'lli, $n_1 > n_2$, bunda n_1 va n_2 ikki xilli muhitlarning sindirish ko'rsatkichlari



2.12-rasm. Optik to'ida to'liq ichki qaytish jarayoni

Ideal holda yorug'likning sochilishi va nolinch dispersiya bo'lmaganda nur (1) o'zak bo'ylab istalgan masofaga tarqalishi mumkin [1]. Nur (1) yo'naluvchi nur (moda) deyiladi.

Nur (2) θ_k burchak ostida tushib sinadi va o'zak-qobiq chegarasi bo'ylab tarqaladi.

$\theta < \theta_k$ ostida tushgan nur (3) sinadi va qobiq chegarasiga tushib, qobiq bo'ylab tarqalishida so'nadi yoki qobiqdan tashqariga chiqib ketadi. Ular nurlanuvchi nurlar deyiladi.

2.3.2. Sonli apertura

Optik tolaga bir emas, bir necha yorug'lik nurlarining yig'masi kirish konusini hosil qilib tushadi va faqat kritik burchakdan katta burchak ostida tushgan nurlargina OT o'zagi bo'ylab tarqaladi.

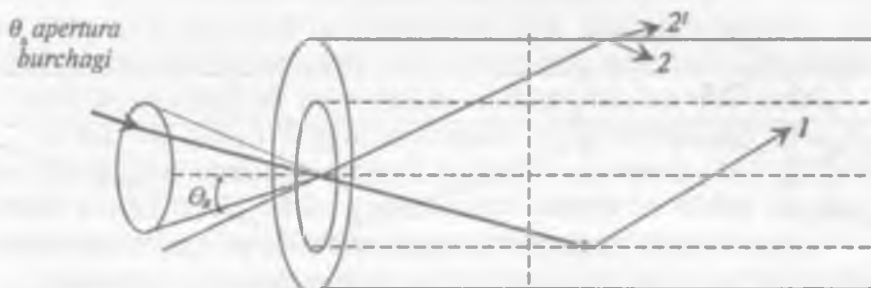
Nurlarni tola o'zagiga maksimal tushish konusining yarim burchagi *apretura burchagi* — θ_a , kirish konusi $2\theta_a$ esa sonli apretura deyiladi (2.13-rasm).

Sonli apertura NA bilan belgilanadi (inglizchadan *Numerical Aperture*) va o'zak, qobiq sindirish ko'rsatkichlari orqali quyidagi munosabatdan aniqlanadi:

$$NA_0 = \sin \theta_a = \sqrt{(n_1^2 - n_2^2)} = n_1 \sqrt{2\Delta_n}$$

yoki

$$NA_1 = k \sqrt{(n_1^2 - n_2^2)} \quad (2.3)$$



2.13-rasm. Optik tolani apertura burchagi

(2.3)da adabiyotlarda uchrashi mumkin bo'lgan, sonli aperturani hisoblashning ikki formulasi keltirilgan. Ular sonli aperturaga yaqin qiymatlarini beradi. Birinchi formula nazariy, ikkinchisi esa amaliy hisoblashlar uchun ishlatiladi. Bu yerda o'lchash usullariga bog'liq holda $k=0,98$ yoki $k=0,94$ (EIA-455-29 yoki EIA-455-44 standartlari bo'yicha mos ravishda). Yuqoridagi 2.9-rasm uchun berilgan $n_1=1,48$, $n_2=1,46$ qiymatlar uchun, (2.3) formula bo'yicha sonli apertura qiymatlari: 0,242487 (nazariy) va 0,237637 ($k=0,98$) va 0,227938 ($k=0,94$) (amaliy) [1].

Sindirish ko'rsatkichlarining nisbiy farqi Δ_n quyidagiga teng:

$$\Delta_n = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2} = \frac{n_1 - n_2}{n_1}.$$

$\theta \leq \theta_0$ burchak ostida, ya'ni apertura burchagi doirasida tushgan nurlar (2.13-rasmdagi nur 1 mos keladi) to'liq ichki qaytib, optik tola o'zagi bo'ylab uzatiladi. $\theta > \theta_0$ apertura burchagi doirasidan katta burchak ostida tushgan nurlar sinib, o'zakdan qobiqqa o'tadi. Bu nurlar qobiq bo'ylab tarqalib, asta-sekin so'na boshlaydi yoki qobiqdan chiqib ketadi (2.13-rasmdagi mos ravishda nur 2 va 2').

Apertura doirasiga mos keluvchi nurlar yo'naluvchi (nur 1), aperturadan tashqaridagi nurlar *nurlanuvchi* (nur 2 va 2') *nurlar* deyiladi. Aperturadan tashqaridagi *qobiq bo'ylab tarqaladigan nurlar* qobiq bo'ylab uzatiluvchi nurlar deyiladi [1].

2.2-jadvalda eng ko'p tarqalgan optik tolalar parametrlarining tipik qiymatlari keltirilgan [15].

2.2-jadval

OT turi (kvars shishasi)	O'zak diametri, mkm	NA	Tola o'zagiga maksimal tushish burchagi, grad.	Δ_n
Ko'p modali OT	50–200	0,25–0,5	20–30	0,005– 0,02
Bir modali OT	5–12	0,12–0,25	5–8	0,002–0,01

NA optik tolaning muhim xususiyati hisoblanib, yprug'lik nuri tolaga qanday kiritilishi va tarqalishini ko'rsatadi.

NA qiymati katta bo'lgan OT yorug'likni yaxshi qabul qiladi, NA kichik qiymatli optik tolalarga faqatgina tor yo'naltirilgan yorug'lik to'plamini kiritish mumkin.

Yuqori o'tkazish polosali OT kichik NA qiymatiga ega. Shu tarzda, ularda modalar soni kam, dispersiya kichik va ishchi o'tkazish polosasi keng bo'ladi. NA katta qiymatga ega optik tolalarda mumkin bo'lgan yorug'lik yo'nalishlari, ya'ni modalar sonining ko'pligi natijasida modalararo dispersiya yuqori bo'ladi [2].

2.3.4. Yorug'lik nurining optik tola muhiti bilan ta'sirlashuvi

Yorug'lik elektromagnit to'lqin kabi optik tola modasi bilan o'zaro ta'sirlashadi. Kvars shishasi bo'ylab tarqalish jarayonida yorug'lik elektronlar, molekulalar, ionlar va tola defektlari bilan

o'zaro ta'sirda bo'ladi. Umumiy holda o'zaro ta'sirlashuv xarakteri turlicha bo'ladi. Tushayotgan yorug'lik — birlamchi to'lqin, zaryadlangan zarrachalar — elektronlar, ya'ni elektrik izotrop molekullarni ham tebranishga majbur etib, izotropik ko'rinishi bo'yicha birlamchi molekullar bilan (yo'nalishi bo'yicha) mos keladigan, o'shanday chastotali ikkilamchi to'lqinlarni hosil qiladi.

Optik bir turdagi va izotrop muhitda birlamchi va ikkilamchi to'lqinlarning interferensiyasi (ustma-ust tushishi) natijasida o'tuvchi to'lqin hosil bo'ladi, uning fazali tezligi v , chastotaga bog'liq.

Yorug'lik uzatkich modasining elektr va magnit xususiyatlari, uning yorug'lik to'lqinlari bilan o'zaro ta'sirlashuvini aniqlaydi va *nisbiy dielektrik, magnit o'tkazuvchanlik* ϵ , μ va *solishtirma o'tkazuvchanlik* bilan tavsiflanadi. Bunda to'lqinning fazali tezligi quyidagi munosabat bilan aniqlanadi:

$$v_{\varphi} = c / \sqrt{(\epsilon \cdot \mu)} = c / n(\omega), \quad (2.4)$$

bunda c — vakuumdagi yorug'lik tezligi,
 $n(\omega)$ — chastotaga bog'liq bo'lgan, muhitning sindirish ko'rsatkichi. (2.4) dan ko'rinish turibdiki, fazali tezlik muhitning sindirish ko'rsatkichi n ga teskari proporsional [1].

2.3.5. Optik tolada hosil bo'ladigan modalar

Molekulalar bilan o'zaro elektromagnit ta'sirlashuv darajasida fazoviy E elektrik va N magnit maydonlar va *qutblanish* hodisasi hisobga olinadi, faqat aniq ma'lum yuzalarda mos ravishda (E , N) vektorlarning tebranishlarini ruxsat etuvchi, elektrik qutblanish P singari, magnit qutblanish B lar optik tolada ko'plab bir necha *tebranish va moda turlarining* hosil bo'lishiga olib keladi. Yorug'lik tebranishlarining tarqalishida quyidagi shartlarning saqlanishi hisobga olinadi: optik tolada yorug'likning to'lqin uzunligi $\lambda_{y_0} = 0,8 - 1,5$ mkm qiymatlarga, o'zak diametri $d_0 = 10 \pm 60$ mkm qiymatlarga ega (ya'ni $\lambda_{y_0} \ll d_0$, nisbat taxminan saqlanadi).

Tebranish yoki *moda turlari* Maksvell tenglamalar tizimining yechimlari bilan aniqlanadi. Bunda optik tolni z bo'ylama o'qli

ideal silindr sifatida keltirish mumkin (z_0 yorug'lik uzatkich boshlanishi hisoblanadi), x va y o'qlar esa ko'ndalang yuzada gorizontall (xz) va vertikal (yz) yuzalarni hosil qiladi. Bu koordinata tizimida to'liqlarning 4 sinfi mavjud (E va N ortogonalligini hisobga olganda):

- ko'ndalang T : $E_z=N_z=0$; $E=E_y$; $N=N_x$;
- elektrik E : $E_z\neq 0$; $N_z=0$; $E=(E_y, E_z)$ – (yz) yuzada tarqaladi; $N=N_x$;
- magnit N : $N_z\neq 0$; $E_z=0$; $N=(N_x, N_z)$ – (xz) yuzada tarqaladi; $E=E_y$;
- aralash (gibrid) EN yoki NE : $E_z\neq 0$, $N_z\neq 0$; $E=(E_y, E_z)$, $N=(N_x, N_z)$ – (xz) va (yz) yuzalarda tarqaladi.

Maksvell tenglamalar tizimini yechishda silindrik koordinatalar (z, r, φ) ni qo'llash qulay, bunda yechim E_z va N_z turdagi tarkibli to'liqlar ko'rinishida topiladi:

$$E_z(r, \omega) = A(\omega) F(p) \exp(im\varphi) \exp(-\beta z),$$

$$N_z(z, \omega) = B(\omega) (im\varphi) \exp(im\varphi) \exp(-\beta z)$$

bunda $A(\omega)$ va $B(\omega)$ – normallashtiruvchi doimiylar,

$F(p)$ – noma'lum funksiya;

β – moddaning tarqalish doimiysi.

$F(p)$ uchun yechimlar o'zak uchun Besselning $K_m(K_{qob}\rho)$ modifikatsiyalangan funktsiyalardan va o'zak uchun Besselning $J_m(K_o\rho)$ sodda m funktsiyalarning to'plami ko'rinishida olinadi. β -parametr o'zak va qobiq chegarasida E_z va N_z maydon komponentlarning tangensial tashkil etuvchilarining uzluksizligini talab etuvchi, chegaraviy shartlar ustma-ust tushganda olinadigan xarakteristik tenglamalar yechimi sifatida aniqlanadi. O'z navbatida xarakteristik tenglama har bir to'liq m uchun n yechimlardan iborat (n butun indekslar) to'plamlarini beradi, ya'ni har bir aniq modaga mos keluvchi β_{mn} xususiy qiymatlarga ega bo'linadi. Natijada modalar to'plami ($m-n$ matritsa) shakllanadi, ularni tanlash ikkilangan indekslarni qo'llashga asoslangan.

Aniqlanishcha, optik tolada ikki turdagi NE_{mn} va EN_{mn} modalar mavjud. $m>0$ da gibrid modalarga, $m=0$ da esa TE_{01} va TN_{01} ko'ndalang modalarga ega bo'lamiz.

O'zak diametri kichraygan sari, yorug'lik oqimlarining kesishishi kamayadi hamda tolada yuzaga keladigan modalar yoki turli xil tebranishlar soni ham (Maksvell tenglamalar yechimi bilan aniqlanadigan) kamayadi.

Bir modali tolada faqat bitta asosiy moda deb ataladigan gibrid NE_{11} moda uzatiladi.

Ko'p modali toladan esa turli ko'ndalang va gibrid modalar uzatiladi. Ko'rsatilgan modalarning hammasini ham hosil qilib bo'lmaydi. Qaysi modalar hosil bo'lishini tushuntirish uchun, yetarlicha murakkab tahlil olib borish kerak [1].

2.3.6. Kritik chastota va modaning normallashtirilgan chastotasi

Yuqorida keltirilgan $F(\rho)$ yechim $k\rho$ argumentdan funksiya hisoblanadi, bunda («kappa») vektor $k=(k_o, k_{qob})$ k_o va k_{qob} tashkil etuvchilarga ega bo'lib, $k_y^2 = k_o^2 \beta^2$ va $k_{qob}^2 = \beta^2 - k_o^2$ sifatida aniqlanadi, ya'ni *o'zak va qobiq to'lqin vektorlarining* («k») ko'ndalang tashkil etuvchilari (k_o va k_{qob}). Chunki k_o va k_{qob} yoki k_o va k_{qob} quyidagi munosabat bilan bog'langan:

$$k_y^2 + k_{kob}^2 = k_y^2 - k_{kob}^2 = NA_0^2 \cdot k_o^2, \quad (2.5)$$

bunda $k_o = 2\pi/\lambda_0$ — to'lqin vektori,

$k_y^2 = n_1^2 \cdot k_o^2$, $k_{kob}^2 = n_2^2 \cdot k_o^2$, — mos ravishda o'zak va qobiqning to'lqin vektorlari.

Muhim amaliy tushunchalardan biri kritik chastota f_{kr} (kesish chastotasi f_{kes} deb ham ataladi) hisoblanadi. *Kritik chastota bu shunday chegaraviy chastotaki, undan quyi chastotalarda ma'lum indeksli modalarning vujudga kelishi mumkin emas.* Optik tola uchun teskari kattalikni ishlatish qulay: *o'zakning kesish to'lqin uzunligi* $\lambda_{kes} = s/f_{kes}$.

$k_{qob}=0$ shartni hisobga olsak, u holda (2.5)dan $k_o = NA_0 k_0$ olinadi va kesish to'lqin uzunligini aniqlash mumkin.

k_o o'rniga $K_o = 2\pi \cdot f_{kes}/s = 2\pi/\lambda_{kes}$ ni qo'yib, surat va maxrajini r_o o'zak radiusiga ko'paytirib, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\lambda_{\text{kes}} = \pi \cdot d_o \cdot NA_o / K_o \cdot r_o. \quad (2.6)$$

$$\text{Normallashtirilgan chastota } V = \sqrt{\left\{ (K_y \cdot r_y)^2 + (K_{kob} \cdot r_y)^2 \right\}}$$

tushunchacini kiritsak (normallashtirish $k\rho$ bo'yicha o'zak va qobiq chegarasida o'rtacha geometrikni ishlatish bilan, amalga oshiriladi: $\rho=r_o$), unda k_o va k_{qob} qiymatlarni qo'yib ushbu ifodani hosil qilamiz:

$$V = k_o \cdot r_o \cdot NA_o. \quad (2.7)$$

Agar kesish sharti bajarilsa, unda tushunchasini $V_{\text{kes}} = k_o \cdot r_o$, u holda (2.6) ni quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$\lambda_{\text{kes}} = \pi d_o \cdot NA / V_{\text{kes}}. \quad (2.8)$$

Kesishning normallashtirilgan chastotasini har bir moda uchun β parametrlar orqali ifodalangan xarakteristik tenglamadan aniqlash mumkin. Quyidagi jadvalda bir modali va ko'p modali tolalarda mavjud bo'lgan TE_{om} , TN_{om} va NE_{lm} modalar uchun V_{kes} qiymatlari berilgan.

2.3-jadval

Kesishning normallashtirilgan chastota qiymatlari

M	V_{m1}	V_{m2}	V_{m3}	To'liqin turi
0	2,405	5,520	8,654	TE_{om} , TN_{om}
1	0	3,832	7,016	NE_{11}

Jadvaldan ko'rinib turibdiki, NE_{11} asosiy moda uchun $V_{\text{kes}} = V_{11} = 0$ ga teng, bunga mos holda $\lambda_{\text{kes}} = \infty$, bu shuni bildiradiki, bir modali optik tola uchun λ_o ni tanlashda chegara rasman mavjud emas. Biroq, haqiqatda bir modali optik tola uchun $V_{\text{kes}} < 2,405$ bo'lishi kerak, ya'ni bir modalidan ko'p modaliga o'tishda, masalan d_o oshishi hisobiga, birinchi navbatda kichik indeksli TE_{01} va TN_{01} modalar hosil bo'ladi, ular uchun $V_{01} = 2,405$.

Misol. Korning kompaniyasining o'zak diametri $d_o = 8,3$ mkm, $NA_o = 0,13$; $n_1 = 1,4675$ ga teng bir modali optik tolasi uchun (2.8) formulani qo'llab kesish to'liqin uzunligini aniqlaymiz.

$$\lambda_{kes} = \pi \cdot d_o \cdot NA / V_{kes} = 3,14 \cdot 8,3 \text{ mkm} \cdot 0,13 / 2,405 = 1,409 \text{ mkm}.$$

$\lambda_{kes}=1409$ nm ga ega bo'ldi. Nazariy jihatdan bu bunday tola orqali faqat $\lambda > 1409$ nm uchun bitta moda uzatilishini, 1409 nm dan kichik $\lambda=1300$ nm uchun esa bir necha modalarning uzatilishini, ya'ni ko'p modali optik tola ekanligini anglatadi. Ishchi to'lqin uzunligi λ , kesish to'lqin uzunligidan kichik $\lambda < \lambda_{kes}$ bo'lsa, optik tola ko'p modali rejimda ishlaydi.

Biroq, *bevosita kabelda kesish to'lqin uzunligining amaliy o'lchangan qiymati* $\lambda_{kes}=1260$ nm ga teng va shuningdek, $\lambda=1300$ nm va undan yuqori to'lqin uzunligida tola haqiqatdan bir modali rejimida ishlashi mumkin. Bundan xulosa qilish mumkinki, kabelda joylashgan tola uhun kesish to'lqin uzunligi λ_{kes} kamayadi (misolda $10,5\%$ ga) [1].

Optik tola deformatsiyalanishi natijasida, bukilish joylarida yo'naluvchi modalar uchun (asosiy modadan tashqari) to'liq ichki qaytish sharti buzilishi va ba'zi modalar yo'qolishi mumkin. Bu shuni bildiradiki, optik kabelda va ulagichlarda kesish to'lqin uzunligi (2.8)ga nisbatan qisqa to'lqin uzunliklari tomon siljiydi [1].

E maydon NE_{11} asosiy to'lqin uchun bir modali optik tolada rasman 3 tashkil etuvchiga ega: E_x, E_y, E_z . Haqiqatda ikki ko'ndalang tashkil etuvchilari (E_x, E_y) dan biri, ya'ni asosiy to'lqin *chiziqli qutblangan* bo'lib chiqadi va ko'p hollarda LR_{01} to'lqin sifatida yoziladi [1].

2.3.7. Moda maydoni diametri

Yuqorida olingan nazariya va amaliyotni farq qilish bir qator sabablar bilan tushuntiriladi. Ulardan biri moda maydoni ko'ndalang tashkil etuvchilarning $F(x, y)$ (ya'ni optik tolaning ko'ndalang xy -kesimi yuzasida) haqiqiy tarqalishidadir. Aniq yechimlarning murakkabligi sababli *ko'ndalang moda maydoni* (shuningdek, *modali dog'* deyiladi):

$$F(x, y) = \exp\{-(x^2 + y^2) / r_{mod}^2\}, \quad (2.9)$$

ko'rinishdagi gaussov egriligi bilan approksimatsiyalanadi.

Bunda r_{mm} — moda maydonining haqiqiy radiusi.

Amaliyotda ko'rsatilgan gaussov egrilik kengligi bo'yicha maksimumdan $1/e$ (0,369) sathda ko'ndalang maydonning taqsimlanishi bilan o'lchanadigan, *moda maydonining diametri* d_{mm} yoki o'lchami o'zak diametri d_o dan katta. Ishlab chiqaruvchilar o'zakning fizik diametriga ekvivalent bo'lgan, *moda maydoni* diametri — d_{mm} ning o'lchangan qiymatini bir modali optik tolaniq normaga solingan parametri sifatida keltirishadi. Tipik bir modali optik tola uchun d_{mm} yetarlicha murakkab holda to'liq uzunligiga bog'liq bo'lib, 1150 nm orliqda maksimum (12,7 mkm) ga, 1230 nm oraliqda — minimum (9,4 mkm) ga ega (minimumga teng to'liq uzunligi kritik to'liq uzunligi λ_{kr} ham deyiladi) va bu to'liq uzunligidan katta to'liq uzunliklariga tomon chiziqli o'sib boradi [1].

2.3.8. Ko'p modali optik tolada modalar soni

Ko'p modali optik tolada yuzaga keladigan modalar soni N ni normallashtirilgan chastotani qo'llagan holda ham baholash mumkin. U $N = V^2 / \{2 / (1 + 2/M)\}$ formuladan aniqlanadi, bunda $M = n$, profilining egri o'zgarishining daraja ko'rsatkichi (∞ — pog'onali profil uchun va 2-gradiyentli profil uchun), yoki

$$\begin{aligned} N &= V^2 / 2 \quad (M = \infty \text{ uchun}) \\ N &= V^2 / 4 \quad (M = 2 \text{ uchun}), \end{aligned} \quad (2.10)$$

bunda:

$$V = \pi \cdot d_o \cdot NA_o / \lambda_o.$$

Misol. Keng foydalaniladigan, o'zak diametri minimal 50 mkm bo'lgan ko'p modali optik tola uchun, $\lambda_o = 1300$ nm nurlanish to'liq uzunligiga va $NA_o = 0,20$ teng bo'lsa, (2.10) formuladan foydalanib, modalar sonini aniqlaymiz. Pog'onali ko'p modali optik tola uchun uchun $N = 292$ ga teng, gradiyentli ko'p modali optik tola uchun uchun $N = 146$ ga teng. Modalar soni ishlab chiqaruvchilar tomonidan normaga solinmaydi, lekin uni kamaytirish uchun kichik diametrlilik ko'p modali optik tolalarga o'tiladi: 200 — 100 — 62,5 — 50 mkm. Bu tolalarda (50 mkm) so'nish hozirda 0,5 — 0,8 dB/km qiymatgacha kamaytirilgan [1].

2.4. Optik toladagi so'nish hodisasi

Optik signal tola orqali uzatilganda yorug'lik to'lqinlarining tola muhiti bilan chiziqli va nochiziqli o'zaro ta'siri natijasida signal quvvatining yo'qolishidan optik signal so'nadi. Ulardan asosiylari yorug'lik nurining *yutilishi* va *sochilishi* hisoblanadi. Bunda so'nishning o'zgarish qonuni quyidagi umumiy ko'rinishga ega:

$$P = P_0 \exp(-\alpha L), \quad (2.11)$$

bunda P_0 — tolaga kiritiladigan quvvat;

L — tola uzunligi;

α — so'nish doimiysi yoki toladagi yo'qotishlar.

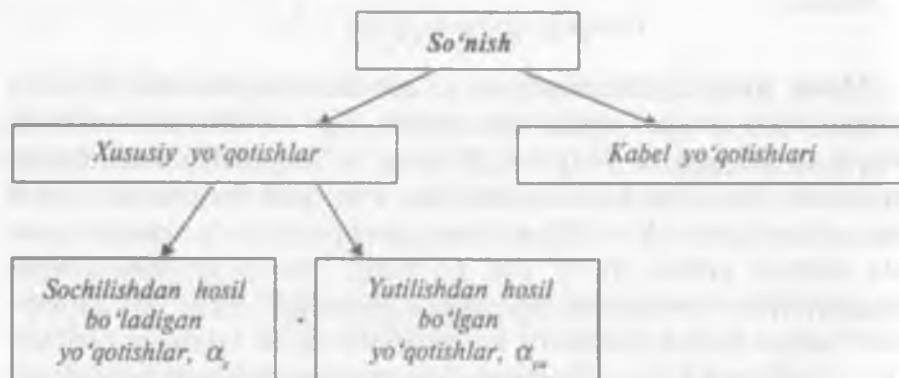
Bu munosabatni qo'llab solishtirma yo'qotishlarni dB/km da baholash ifodasini olishimiz mumkin [1]:

$$\alpha_{\text{solishtirma}} = - (10/L) \lg(P/P_0) = 4,343 \alpha. \quad (2.12)$$

Umumiy holda so'nish optik signallarning sochilishi va yutilishidan hosil bo'luvchi yo'qotishlar va kabel yo'qotishlaridan yuzaga keladi. Yutilish va sochilishdan hosil bo'ladigan yo'qotishlar xususiy yo'qotishlar, kabel yo'qotishlari esa qo'shimcha yo'qotishlar deyiladi.

To'liq tola yo'qotishlarini ularning yig'indisi ko'rinishida yozish mumkin:

$$a = a_s + a_k = a_{yu} + a_s + a_k, \text{ (dB/km)}. \quad (2.13)$$



2.14-rasm. Toladagi yo'qotishlarning asosiy turlari

2.4.1. Optik tolaning xususiy yo'qotishlari

Xususiy yo'qotishlarga yutilish va sochilishdan hosil bo'ladigan yo'qotishlar kiradi. Yutilishdan hosil bo'ladigan yo'qotishlar *ichki* va *tashqi* bo'ladi.

Ichki yutilish yo'qotishlarini toza kremniy materiali hosil qilishi mumkin. Har bir material molekulyar tuzilishiga ko'ra ma'lum to'lqin uzunliklarida signallarni yutishi mumkin. Masalan, SiO_2 ni ultrabinafsha diapazonda $\lambda < 0,4$ mkm to'lqin uzunligida elektron rezonanslari mavjud. Shuningdek, infraqizil diapazonda $\lambda > 7$ mkm to'lqin uzunligida tebranuvchi rezonanslari mavjud. Demak, bu rezonanslar yutish polosasi ko'rinishida mavjud bo'ladi. Ikkinchi va uchinchi oynalarda yutilishning bu turi 0,03 dB/km dan ko'p bo'lmagan yo'qotishlarga olib keladi.

Tashqi yutilish yo'qotishlari yorug'likning tola qo'shimchalarida yutilishidan hosil bo'ladi. Zamonaviy ishlab chiqarish texnologiyalari bu yo'qotishlar ta'sirini juda kichik darajaga kamaytirgan. Bu yo'qotishlarni quyidagi qo'shimchalar hosil qiladi: temir, mis, nikel, magniy, xrom. Zamonaviy ishlab chiqarish jarayonida bu metallarning tarkibi bir milliard qismgacha kamaytirilgan. Shuning uchun ular umumiy tashqi yutish yo'qotishlarining juda kichik qismini tashkil etadi.

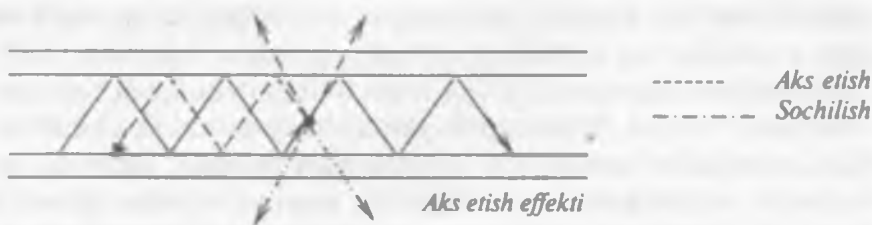
Bulardan farqli ravishda gidroksil ion (OH) lar qoldig'ining mavjudligi, ya'ni ishlab chiqarish jarayonida tolada suv qoldiqlarining qolishi tashqi yutish yo'qotishlarini sezilarli darajada oshiradi. Optik tola tarkibida OH ionlari birni yuz milliondan kam qismini tashkil etish kerak.

Zamonaviy optik tolalarda mikroqo'shimchalar miqdori juda kichikligi uchun tashqi yutilish yo'qotishlari minimal bo'lib, ularni hisobga olmasa ham bo'ladi. Lekin OH konsentratsiyasi birdan million qismni tashkil etganda, 1390 nm to'lqin uzunligida yo'qotishlar 50 dB bo'lishi mumkin [14].

Nurning sochilishidan hosil bo'ladigan yo'qotishlar ichki yo'qotishlar hisoblanib, optik tola o'zagining defektlari: havo puffakchalari, yoriqlar, tolaning bir turda emasligi, ya'ni qo'shimchalar qo'shilishidan shisha zichligining tasodifiy o'zgarishi tufayli yuzaga keladi. Bu omillar yorug'lik oqimi yo'nalishini o'zgartirib, og'ishiga

olib keladi, natijada sinish burchagi oshib, yorug'lik nuri qobiqdan tashqariga sochilib ketadi.

Bundan tashqari, optik tolaning bir turda emasligi, ya'ni qo'shimchalar mavjudligi yorug'lik oqimining ma'lum qismining teskari tomonga aks etishi — teskari sochilishga olib keladi (2.15-rasm) [17].



2.15-rasm. Optik tolada yorug'likning sochilishi va aks etishi.

2.4.2. Kabel yo'qotishlari

Kabel yo'qotishlari makrobukilishlar va mikrobukilishlar hisobiga hosil bo'ladi.

Makrobukilishlar. Minimal ruxsat etilgan radiusdan oshgan katta bukilishlarga *makrobukilishlar* deyiladi. Bir modali optik tolalarning bukishning ruxsat etilgan minimal radiusi 10 sm ni tashkil etadi. Bunday bukilishda yorug'lik impulslari kuchsiz buzilish bilan tarqaladi. Bukilish radiusining kamayishi, tolani ruxsat etilgandan ortiq bukish optik impulslarning tola qobig'i orqali sochilish effektini oshiradi [17].

Ishlab chiqaruvchilar tomonidan kabelning minimal bukish radiusi ko'rsatilgan bo'lishi kerak. Kabel (g'altak) g'altakka o'ralganda, albatta g'altak radiusi bo'yicha bukiladi.

Binolarda kabel yotqizilganda, u bino burchaklarida bukilishi mumkin. Kabelni yotqizuvchi bukish radiusini minimal ruxsat etilgan qiymatdan kamaytirmasligi, ortiqcha bukmasligi kerak. Tolali optik kabelni ruxsat etilgan chegaradan kuchli bukib, kabelni yaroqsiz qilish, hattoki kabelda tolalarning uzilishiga olib kelish mumkin.

Bu ham tola so'nishining oshishiga sezilarli ta'sir etishchi mumkin. 2.16-a rasmda makrobukilishlar ko'rsatilgan [14].

Mikrobukilishlar — bu ishlab chiqarish jarayonida tola o'zagi geometriyasining mikroskopik o'zgarishi, tolaning etarli tekis bo'lmagan tashqi himoya qoplamalari bilan qoplanishi natijasida o'zakning o'q markazida joylashmasligi, o'qqa nisbatan qiyshiq joylashishi, ya'ni tolaning mukammal emasligidan yuzaga keladi.

Mikrobukilishlar kabledagi yo'qotishlarini oshiradi. Bu yo'qotishlar juda katta bo'lishi va ba'zi hollarda 100 dB/km dan ham oshishi mumkin. Mikrobukilishlar 2.16-b rasmda ko'rsatilgan [14].



2.16-rasm. Optik tolaning makrobukilishlari (a) va mikrobukilishlari (b)

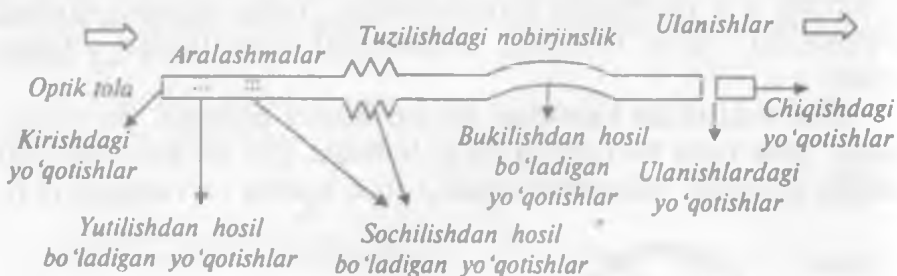
Ishlab chiqarilgan optik tolaning mukammal emasligi, tola geometriyasining o'zgarishlari tolalarni oson, tez va sifatli payvandlanmasligiga olib keladi. Payvandlash va tolalarni ulashda yo'qotishlarga olib olib keladigan sabablar quyidagilar:

- tola o'zaklari o'lchamlarining moslashmaganligi;
- tolalarning sindirish ko'rsatkichlarining farqlanishi;
- tolalarni ulashda uzunasiga o'qlarning chatishmasligi;
- tolalarning burchak aperturalarining farqlanishi;
- tolalarning zich ulamaslikdan havo pufakchalarining hosil bo'lishi.

Bu omillarning barchasi so'nish va yo'qotishlarni oshiradi. So'nish va yo'qotishlarni kamaytirish uchun ishlab chiqarish jarayonida tola geometriyasining yuqori aniq bo'lishiga katta e'tibor berish kerak.

Buning uchun ishlab chiqarishda o'zakni qobiq shishasida markazlashgan holda joylashishi ishlab chiqarilgan tolalarning diametrlarining bir xil bo'lishi va tolaning bukilishlariga katta talablar qo'yiladi.

Optik tolaning to'liq so'nish ko'effitsiyentini aniqlash uchun yuqorida aytib o'tilgan barcha omillar e'tiborga olinishi kerak (2.17-rasm) [17].



2.17-rasm. Optik signalni uzatish sifatiga ta'sir qiluvchi omillar

Optik nurlanishning berilgan to'lqin uzunligi uchun so'nish ko'effitsiyenti tolaga kiritiladigan optik quvvatni toladan qabul qilingan optik signal quvvatiga nisbati orqali aniqlanadi. Odatda, so'nish ko'effitsiyenti detsibelda (dB) o'lchanadi va optik tola parametrlari, shuningdek, to'lqin uzunligiga ham bog'liq. So'nishning to'lqin uzunligiga bog'liqligi noxiziqli xarakterga ega bo'lib, bu bog'lanish grafigi 2.7-rasmda ko'rsatilgan edi. 2.4-jadvalda turli to'lqin uzunliklari uchun so'nish qiymatlari berilgan.

2.4-jadval

Turli to'lqin uzunliklari uchun so'nish qiymatlari

Shaffoflik oynalari	To'lqin uzunligi λ , mkm	So'nish α , dB/km
1	0,85	2-3
2	1,3	0,4-1,0
3	1,55	0,2-0,3

Birinchi shaffoflik oynasi keng polosali yorug'lik nurlanish manbalari va qisqa to'lqinli lazerdan foydalanib, signallarni yaqin masofalarga uzatishda qo'llaniladi.

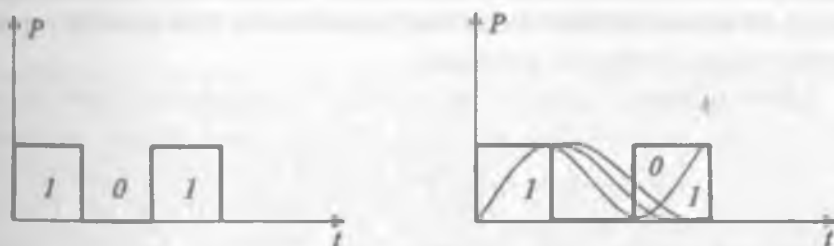
Ikkinchi shaffoflik oynasining to'lqin uzunliklari telekommunikatsiyada ko'p qo'llaniladi. Bu oyna nisbatan kam so'nish ko'effitsiyentiga ega bo'lib, bu diapazonda signallarni uzatish uchun keng polosali optik nurlanish manbalari ishlatiladi. Buning asosiy

sababi ushbu diapazonda kvars shishasi minimal xromatik dispersiya qiymatiga ega bo'lib, u arzon nurlanish manbalaridan foydalanish imkonini beradi.

Uchinchi oynaning asosiy afzalligi so'nish koeffitsiyentining minimalligi hisoblanadi. Biroq yuqori tezlikli tizimlarning oqimlarini uzatishda dispersiya qiymati oshib ketadi. Dispersiya qiymatini kamaytirish uchun dispersiyani kompensatsiya qiluvchi qurilmalarning qo'llanilishi talab etiladi, bu esa tolali optik aloqa tizimlarining narxini oshiradi.

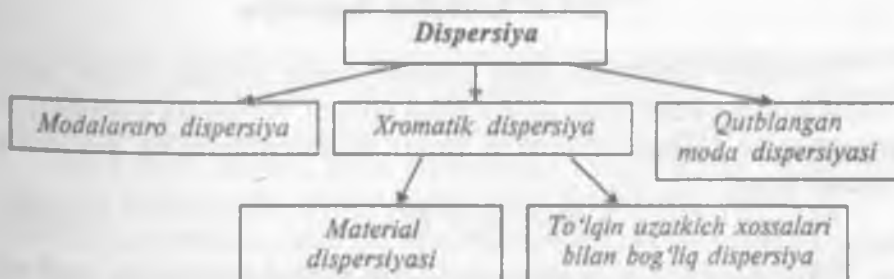
2.5. Optik toladagi dispersiya hodisasi va uning turlari

Optik tolada signallarni uzatish sifatiga ta'sir qiluvchi eng muhim omillardan biri dispersiya hisoblanadi. *Dispersiya* – bu yorug'lik impulsleri oxirlarining cho'zilishi, ya'ni impulsarning kengayishidir. Impulslar kengayib, bir-birini qoplaydi, simvollararo buzilishlar yuzaga keladi va qabul qilishda impulslar ketma-ketligidan uzatilgan foydali informatsiyani ajratib bo'lmay qoladi (2.18-rasm).



2.18-rasm. Optik tolada impulsning kengayishi

Dispersiyaning quyidagi turlari mavjud



2.19-rasm. Dispersiya turlari

Dispersiya o'tkazish qobiliyatini kamaytirib, optik tizimlarning ish tezligini chegaralaydi. Dispersiya — impulsning kengayishi, L uzunlikli kabelning kirish va chiqishidagi impuls davomiy-ligining kvadratik farqi sifatida quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$\tau(L) = \sqrt{t_{chiq.}^2 - t_{kir.}^2} . \quad (2.14)$$

Odatda, dispersiya bir kilometr hisobida me'yorlashtiriladi va ps/km da o'lchanadi.

2.5.1. Modalararo dispersiya

Modalararo dispersiya tola bo'ylab modalarning turli yo'nalish-larda turli vaqtda tarqalishi bilan bog'liq. Ko'p modali tolaga sonli apertura burchagi doirasida bir necha ruxsat etilgan modalar kiritilishi mumkin (2.19-rasm) [14].

Modalar turli yo'nalishlarda tarqaladi va uzatuvchi manbadan qabul qilgichga turli vaqtlarda yetib keladi. 2.20-rasmda eng katta to'lqin uzunlikli moda 2 ta qaytishga ega bo'lsa, eng kichik to'lqin uzunlikli moda tolaning shu kesimida 7 ta qaytishga ega. Natijada kichik to'lqin uzunlikli moda energiyasi katta to'lqin uzunlikli moda energiyasiga qaraganda kechikadi.

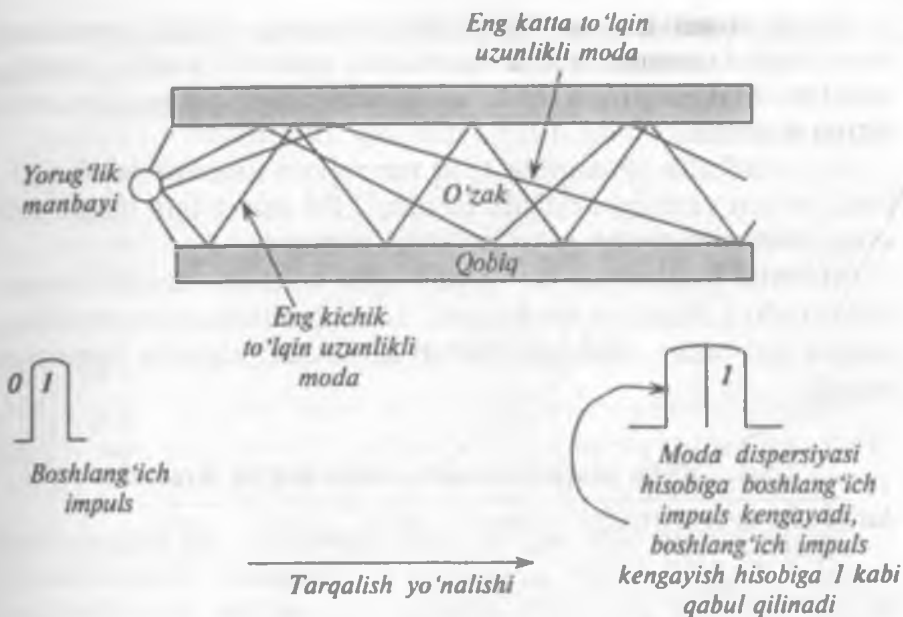
Qabul qilingan impuls yig'indisida bir impulsni qo'shni impuls intervaliga tushishidan qo'shni impuls xato qabul qilinadi. Modalararo dispersiya ko'p modali uzatish tizimlarining kamchiligi hisoblanadi. Bu turdagi dispersiya buzilishlarining bir modali tolalarni qo'llash orqali bartaraf etish mumkin. Chunki undan faqat bitta asosiy moda uzatiladi.

2.5.2. Xromatik dispersiya

Xromatik dispersiya ham dispersiyaning boshqa turlari kabi impulsning kengayishi tufayli hosil bo'ladi. Xromatik dispersiyani material va to'lqin uzatuvchi (tola) dispersiyalarining yig'indisi tashkil etadi:

$$D_x = D_m + D_t. \quad (2.15)$$

Xromatik dispersiya pikosekund/nanometr-kilometr (ps/nm·km) da o'lchanadi. (1 ps = $1 \cdot 10^{-12}$ s, 1 nm = $1 \cdot 10^{-9}$ m). Bu 1 nm



2.20-rasm. Ko'p modali optik tola kesimida yorug'lik manbayidan berilayotgan uchta modaning tarqalishi ko'rsatilgan (ideallashtirilgan rasm).

kenglikdagi impulsni 1 km uzunlikdagi tola orqali o'tgandagi ps da kengayishidir. Masalan; bir modali standart tolalarda 1550 nm to'lqin uzunligida xromatik dispersiya qiymati 17 ps/nm-km atrofida bo'ladi. Dispersiyaning bu turi bir modali tolalarga ham, ko'p modali tolalarga ham xos. Lekin bir modali tolalarda ko'proq namoyon bo'ladi.

2.5.3. Material dispersiyasi

Material dispersiyasi to'lqin uzunligini tola materialining sindirish ko'rsatkichiga bog'liqligi bilan aniqlanadi. Natijada tola materiali orqali har xil to'lqin uzunliklari turli tezliklarda uzatiladi.

Optik tola, asosan, kvarts shishasidan (SiO_2) ishlab chiqariladi. Har bir to'lqin tola materialidan turli tezliklarda uzatiladi. 1 — shaffoflik oynasida katta to'lqin uzunliklari katta tezlikda, qisqa to'lqin uzunliklari kichik tezliklarda uzatiladi. Masalan; 865 nm to'lqin uzunligi 835 nm ga nisbatan katta tezlikda uzatiladi.

Bunga teskari 3 – shaffoflik oynasida qisqa to‘lqin uzunliklari katta tezlikda, uzun to‘lqin uzunliklari nisbatan kichik tezlikda uzatiladi. Masalan, 1535 nm to‘lqin uzunligi 1560 nm ga qaraganda tezroq uzatiladi.

2 – shaffoflik oynasining 1310 nm to‘lqin uzunligi nol dispersiyali to‘lqin uzunligi deyiladi. Chunki 1310 nm to‘lqin uzunligida kvars shishasini sindirish ko‘rsatkichi minimal.

Material dispersiyasi bir modali optik tolalarda dispersiyaning asosiy tashkil etuvchisi hisoblanadi. Uzatish tizimlarining tezliklari oshgan sari bitlar orasidagi interval kamayadi, natijada dispersiya oshadi.

2.5.4. To‘lqin uzatkich xossalari bilan bog‘liq dispersiya

To‘lqin uzatish bilan bog‘liq (tola) dispersiya – bu impulslarning tarqalish tezligini to‘lqin uzunligiga bog‘liqligidir. Dispersiyaning bu turi tolaning geometrik shakliga va sindirish ko‘rsatkichlari profiliga bog‘liq.

Har qanday real nurlanish manbalari ma‘lum chastota polosasida to‘lqin uzunliklarini nurlantiradi desak, turli to‘lqin uzunligiga ega yorug‘lik impulslari toladan turli vaqt bo‘yicha kechikib keladi. Natijada boshlang‘ich impulslar buziladi. Signallarning turli to‘lqin uzunligida har xil tezliklarda uzatilishi yuqorida keltirilgan edi.

Shuningdek, yuqorida aytib o‘tilgandek, 1310 nm to‘lqin uzunligida dispersiya qiymati minimal bo‘lib, nolga teng, lekin so‘nish qiymati katta bo‘ladi.

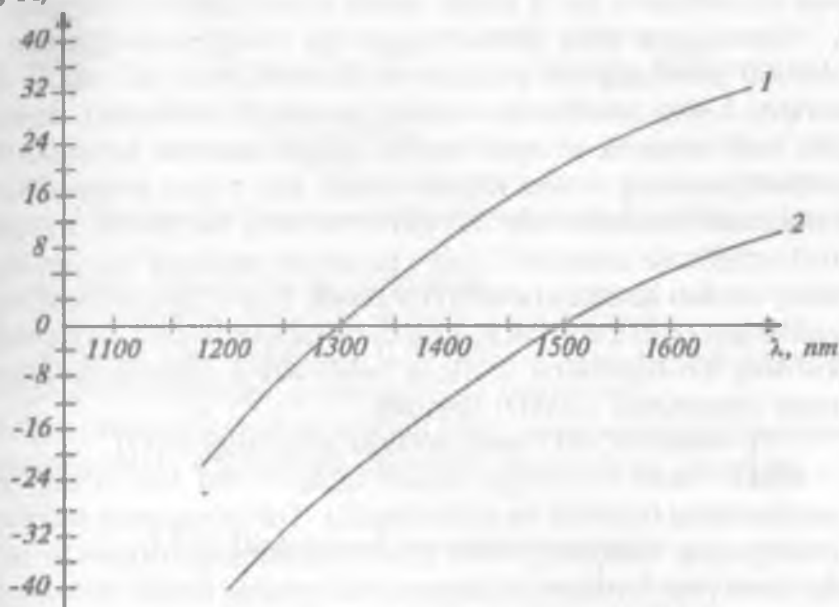
Shuning uchun ham dispersiya, ham so‘nish qiymatlarini kamaytirish maqsadida dispersiyaning nol qiymati so‘nish qiymati kichik bo‘lgan 3-tiniqlik oynasiga surilgan. Bu kvars shishasini legirlash yordamida amalga oshiriladi. Bunday tolalar *siljigan dispersiyali tolalar* deyiladi. Bu tolalardan yuqori tezlikli tizimlarda, shuningdek, oraliq punktlar soni kam bo‘lgan signallarni uzoq masofalarga uzatishda qo‘llaniladi.

2.21-rasmda turli tolalar uchun xromatik dispersiya qiymatining to‘lqin uzunligiga bog‘liqligi keltirilgan [17].

Uzatish liniyasining xromatik dispersiyasi qiymati quyidagilarga sezgir:

- tandem bog‘lanishlar sonining va uzatish liniyasi uzunligining oshishiga;
- uzatish tezligining oshishiga.

$D, P_3/nm \cdot km$



2.21- rasm. Xromatik dispersiyaning to‘lqin uzunligiga bog‘liqligi:

- 1 – toza kvarts shishasining xromatik dispersiya xarakteristikasi;
- 2 – siljigan dispersiyali tolaning xromatik dispersiya xarakteristikasi

WDM to‘lqin uzunligi bo‘yicha zichlashtirilgan tizimlarda xromatik dispersiyaga quyidagilar ta’sir qiladi:

- kanallar orasida qadamning kamayishi;
- kanallar sonining oshishi.

Xromatik dispersiyani kamaytirish uchun dispersiyani kompensatsiyalash usullaridan foydalaniladi.

2.5.5. Qutblangan moda dispersiyasi

Bir modali optik tolalarda, asosan, bitta asosiy moda uzatiladi. Biroq, qutblanishni hisobga olsak, bir modali tolalarda ikkita moda uzatiladi. Ular boshlang‘ich asosiy modaning o‘zaro perpendikulyar

qutblangan ikki tashkil etuvchilaridir. Bu tashkil etuvchilaridan biri dominant hisoblanib, gorizonttal X o'qi bo'ylab, ikkinchisi vertikal yuzadan Y o'qi bo'ylab tarqaladi. X o'qidan uzatilgan moda Y o'qidan uzatilgan modaga nisbatan tez yetib borgani uchun X o'qini «tez uzatadigan o'q», Y o'qini «sekin uzatadigan o'q» deyiladi.

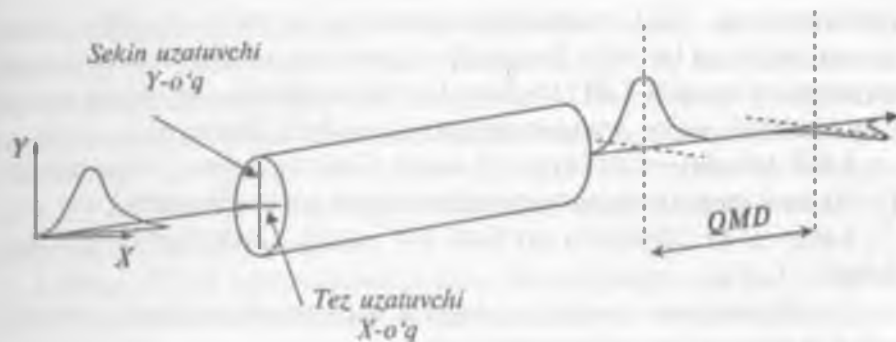
Signal ideal aniq geometriyaga ega toladan uzatilganda edi, modalar qabul qiluvchi punktga bir xil tezlik va bir xil vaqtda yetib borardi. Lekin, amaliyotda tolaning geometrik noidealligi, shuningdek, turli mexanik va optik omillar tufayli sindirish ko'rsatkichlari assimetriyasining yuzaga kelishi sababli ikki o'zaro perpendikulyar qutblangan modalar vaqt bo'yicha turlicha kechikishi natijasida turli tezliklarda tarqaladi. Tola chiqishida boshlang'ich signalning asosiy modasi buzilgan holda yetib keladi. Ikki o'zaro perpendikulyar qutblangan tashkil etuvchi modalarning turli tezliklarda tarqalishidan boshlang'ich signalning buzilgan holda qabul qilinishi qutblangan moda dispersiyasi (QMD) deyiladi.

2.21-rasmda QMD hosil bo'lishi ko'rsatilgan [17].

QMD hosil bo'lishiga asosiy sabab — bu tola o'zagi geometriyasining buzilishi va noidealligidir. Tola o'zagining noidealligi (ovalligining buzilishi), tola geometriyasining o'zgarishi ishlab chiqarish yoki foydalanish jarayonlarida yuzaga keladi. Shuningdek, tolaning bukilishlari, tolni jo'natish uchun maxsus g'altaklarga o'rash, so'ng uni yotqizishdagi mexanik harakatlar tola profili yoki o'zakning qobiq markazida joylashuvini buzadi va tola deformatsiyasiga olib keladi, bularning barchasi ham tola geometriyasining o'zgarishiga ta'sir etib, qutblangan moda dispersiyasining hosil bo'lishiga olib keladi.

Qutblangan moda dispersiyasi pikosekund (ps) da o'lchanadi. Tola defektlarining qo'shilishi va qutblangan moda dispersiyasi bilan o'zaro ta'sirda bo'lishi natijasida seksiyadan seksiyagacha signal yetib borguncha qutblangan moda dispersiyasi ortib boradi. Tolani xarakterlovchi bunday holdagi qutblangan moda dispersiyasi ps/nm-1/2 da o'lchanadi. Bir necha seksiyalardan iborat trassa uchun har bir uchastkalarga mos keluvchi qutblangan moda dispersiyalarining o'rtacha kvadratik yig'indisini qo'llash kerak.

Totali optik aloqa tizimlariga qutblangan moda dispersiyasining ta'siri ushbu hollarda oshadi:



2.22-rasm. Qutblangan moda dispersiyasining hosil bo'lishi

- kanalda uzatish tezligi oshganda;
- regeneratrlar orasidagi masofa uzaytirilganda;
- kanallar soni oshganda (DWDM) — zich to'liqin uzunligi bo'yicha zichlashtirilgan texnologiya qo'llanilganda.

Tolani ishlab chiqarish jarayonini qat'iy nazoratga olish bilangina qutblangan moda dispersiyasi qiymatini kamaytirish mumkin.

2.5.6. Dispersiyani kamaytirish usullari

Dispersiya qiymatlari minimal bo'lgan DSF, NZDSF tolalarini qo'llash dispersiyani kamaytirish usullaridan biridir. O'zbekiston Respublikasi tolali optik aloqa liniyalarida eng ko'p yotqizilgan bu SF — standart tolali kabellardir. SF tolalarida yuqorida aytib o'tilgandek xromatik dispersiya qiymati katta. Standart tolali kabellarni olib tashlab, o'rniga dispersiya qiymati kichik bo'lgan DSF, NZDSF tolali optik kabellarni yotqizish iqtisodiy jihatdan qimmatga tushadi. Shuning uchun bu usuldan yangi qurilayotgan tolali optik aloqa liniyalarini tuzishda foydalangan ma'qul.

Eng ko'p yotqizilgan standart tolali kabellar bo'lgani uchun, bu tolalar qo'llanilganda DSF (Dispersion Compensating Fiber) dispersiyani kompensatsiya qiluvchi tolalardan foydalanish kerak.

DSF — dispersiyani kompensatsiyalovchi tolalardan, asosan, xromatik dispersiyani kamaytirishda, regeneratsiyalash seksiyasi uzunligini oshirishda, past tezlikdan yuqori tezlikli tizimlarga o'tishda, to'liqin uzunligi bo'yicha zichlashtirilgan TOATda

foydalaniladi. DSF tolalarida dispersiya qiymati manfiy katta qiymatlarga ega bo'ladi. Xromatik dispersiyasi musbat ishchi tolaga dispersiyasi manfiy DSF tolalarini ulash natijasida dispersiya nolga yaqinlashadi, ya'ni kompensatsiya qilinadi (2.23-rasm).

DSF tolalari «Corning», «Lucent Technologies», «Sumitomo Electric» kompaniyalari tomonidan ishlab chiqarilmoqda.

Lekin DSF tolalarini qo'llash bir qancha muammolarni tug'diradi:

- dispersiyasi musbat va manfiy turli tolalarni ulash, montaj va ta'mirlashni murakkablashtiradi;

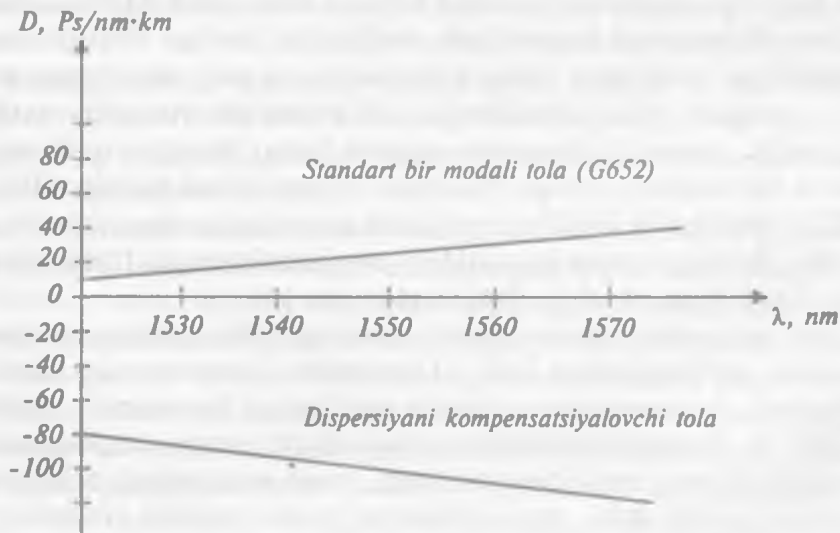
- DSF tolalari ishchi tolaga qaraganda katta yo'qotishlarni yuzaga keltiradi, bu yo'qotishlar $\alpha = 0,4 - 1,0$ dB/km bo'lib, uzatish liniyasining umumiy yo'qotishlariga qo'shiladi;

- 10 – 12 km ishchi tolaning dispersiya qiymatini kompensatsiyalash uchun 1 km atrofida DSF tolalari talab etiladi;

- nochiqli effektlarning oshishiga olib keladi.

Kompensatsiyalash samarali bo'lishi uchun ishchi tolaning umumiy dispersiya qiymati va DSF tolasining dispersiya parametrlarini o'lchash kerak.

Kamchiliklarni yo'qotish maqsadida DSF tolalari maxsus modullarga joylashtirilib, ular uzatish tizimlarining ustunlariga yoki



2.23-rasm. DSF yordamida dispersiyani kompensatsiyalash

optik kuchaytirgichlarning 1 va 2 kaskadlari orasiga qo'yiladi. Bu *dispersiyani kompensatsiyalovchi modullar DCM (Dispersion Sompensating Module)* deyiladi. Dispersiyani kompensatsiya qiluvchi modullarning DCM o'lchamlari har xil bo'lishi mumkin. Masalan, «Corning» B turdagi modullari 235x235x40 mm, D turdagi 267x267x40 mm, C turdagi 278x432x44mm, «Sumitomo» fir-masining 228x202x41 mm.

Lekin, DCM qo'llanilganda ham kamchiliklar mavjud:

- qo'shimcha yo'qotishga olib keladi;
- qutblangan moda dispersiyasi QMD qiymati oshib ketadi.

To'lqin uzunligi bo'yicha zichlashtirilgan tizimlarda va yuqori tezlikli tizimlarda QMD qutblangan moda dispersiyasi 0,1 – 0,2 ps/km – 1/2 dan oshmasligi kerak.

DCM modullari qo'llanganda yuqoridagi kamchiliklarni e'ti-borga olish zarur.

2.6. Tolali optik kabellar va ularning turlari

Vazifasiga ko'ra tolali optik kabellar (TOK) magistral, hududiy va shahar kabellariga bo'linadi. Yotqizish sharoitlariga bog'liq holda stansiya va liniya optik kabellari telefon kanalizatsiyasi kanallari, grunt, suv ostida yotqiziladigan; ustunlarga osiladigan turlarga bo'linadi.

Tolalarning tuzilishiga ko'ra monotolali va jgutli TOK ga bo'li-nadi. Aloqa texnikasida faqat monotolali TOK qo'llaniladi. Optik tolani tayyorlash uchun ishlatilingan materialga bog'liq holda, «kvars-kvars» (OTning o'zak va qobig'i kvarsdan tayyorlangan) va «kvars-polimer» (OT o'zagi kvarsdan, qobiq esa polimerdan tayyorlangan) turdagi TOK bo'lishi mumkin. Liniya kabellari uchun faqat «kvars-kvars» turdagi OT qo'llaniladi.

OT ni birlamchi mustahkamlovchi himoya qoplama materialiga bog'liq holda, polietilen, poliamid, selikon, epitaloksial va epok-siakrilat qoplamali kabellarga bo'linadi. Liniya TOK da, asosan, epoksiakrilat qoplamali OT, stansiya kabellarda polietilen qoplamali OT qo'llaniladi. OT qaysi to'lqin uzunligiga mo'ljallanganligiga bog'liq ravishda 0,85; 1,3 va 1,55 mkm to'lqin uzunliklarida ishlaydigan TOK ga bo'linadi.

Nazorat savollari

1. *Optik tolaning optik aloqa tizimidagi o'rmiqa tafsiv bering.*
2. *Optik tola qanday tuzilgan?*
3. *Optik tola qanday materiallardan tayyorlanadi?*
4. *Tolali optik aloqa tizimida qo'llaniladigan optik tolalarning qanday turlari mavjud? Ularga tafsiv bering.*
5. *Tolali optik aloqa tizimlarida optik tolalarning qanday standartlaridan keng foydalaniladi? Ularga tafsiv bering.*
6. *Ikki muhit chegarasidagi tekislikka tushgan yorug'lik nurining tushish va sinish burchaklari orasidagi bog'lanishni ifodalovchi Snellius qonuni qanday munosabat bilan aniqlanadi?*
7. *Optik tolaning muhim parametrlaridan biri — sindirish ko'rsatkichining nisbiy farqi qanday munosabat bilan aniqlanadi?*
8. *Yorug'lik nurining to'liq ichki qaytish burchagi uchun miqdoriy munosabatni yozing va uni tafsivlang.*
9. *Apertura burchagi va soniga ta'rif bering.*
10. *Pog'onali va gradiyentli sindirish ko'rsatkichlariga ega bo'lgan optik tolalar uchun apertura sonlari qaysi miqdoriy munosabatlar bilan aniqlanadi?*
11. *Normalashtirilgan chastotaga ta'rif bering.*
12. *Pog'onali optik tola uchun modalar soni qanday miqdoriy munosabat bilan aniqlanadi? Unga tafsiv bering.*
13. *Gradiyentli optik tola uchun modalar soni qanday miqdoriy munosabat bilan aniqlanadi? Unga tafsiv bering.*
14. *Kesish to'liq uzunligiga ta'rif bering. Pog'onali bir modali optik tola uchun va optik kabel uchun kesish to'liq uzunliklarini aniqlash usullarini tafsivlang.*
15. *Optik tolaning so'nish va dispersiya bo'yicha baholanishi nimaga bog'liq?*
16. *Yorug'lik nurlanishining optik toladagi so'nishiga ta'sir etuvchi omillarni sanab ko'rsating.*
17. *Optik tolaning xususiy yo'qotishlari qanday hosil bo'ladi?*
18. *Optik tolaning kabel yo'qotishlari qanday hosil bo'ladi?*
19. *Dispersiya tushunchasini ta'riflang.*
20. *Dispersiyaning qanday turlarini bilasiz? Ularni ta'riflang.*
21. *Modalararo dispersiyani ta'riflang.*
22. *Xromatik dispersiyani ta'riflang.*
23. *Qutblangan moda dispersiyasini ta'riflang.*
24. *Dispersiyani kamaytirish maqsadida qaysi usullardan foydalaniladi?*
25. *Tolali optik kabellar vazifasi, tuzilishi va tayyorlangan materialiga bog'liq ravishda qanday turlarga bo'linadi?*

1-bo'lim uchun foydalanilgan adabiyotlar

1. Волоконно-оптическая техника: Современное состояние и перспективы. — 2-е изд., перераб. и доп. / Сб. статей под ред. Дмитриева С.А. и Слепова Н.Н. — М.: ООО «Волоконно-оптическая техника», 2005. — 576 с.

2. Доналд Дж. Sterling. Техническое руководство по волоконной оптике. Издательство «LORI», 1998.

3. Убайдуллаев Р.Р. Волоконно-оптические сети – М.: Эко-Трендз, 2000.

4. Основные построения телекоммуникационных систем и сетей: Учебник для вузов. В.В. Крухмалев, В.Н. Гордиенко, А.Д. Моченов и др.; Под ред. В.Н. Годиенко и В.В. Крухмалева. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004.

5. Оптические системы передачи: Учебник для вузов/Б.В. Скворцов, В.И. Иванов, В.В. Крухмалев и др. Под ред. В.И. Иванова. – М.: Радио и связь, 1994.

6. ИТУ – Т Г. 810. Definitions and Terminology for Synchronization Networks (8.96, 11.01).

7. ИТУ Т Г. 811. Timing Characteristics of Primary Reference Clocks (9.97).

8. ИТУ – Т Г. 812. Timing Requirements of Slave Clocks Suitable for Use as Node Clocks in Synchronization Networks (6.98).

9. ИТУ – Т Г.813. Timing Characteristics of SDH Equipment Slave Clocks (SEC) (8.96).

10. ИТУ – Т Г.703. Physical/Electrical Characteristics of Hierarchical Digital Interfaces (1998, 11.01).

11. Слепов Н.Н. Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи / 2-е изд. исправленное – М.: Радио и связь, 2003. – 468 с.

12. 3645 MainStreet. General Information. Release 5. Newbridge, 1994.

13. Рижков А.В., Кириллов В.П., Кадерлеев М.К. Основы системы ТСС магистральной цифровой сети // Вестник связи, 2000, № 10, с. 37 – 42.

14. Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи: Перевод с английского под ред. Н.Н. Слепова. – М.: Техносфера, 2003.

15. Дмитриев А.Л. Оптические системы передачи информации / Учебное пособие. – СПб: СПбГУИТМО, 2007.

16. Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи. Перевод с английского под ред. Н.Н. Слепова. – М.: Техносфера, 2003.– 447 с.

17. Downing James N. Fiber optik communicabion. Publisher: Cengage learning Sep, 2004. – 444 p.

18. Григорьев В.А. Метод и устройство для дуплексной передачи информации по волоконному световоду// Электросвязь, № 6, 2011. стр 49–50.

19. Накий О.Е., Новиков А.Г., Плоцкий А.Ю., Терешинов В.Н., Убайдуллаев Р.Р. Характеристика многолетней системы DWDM с каналами 40 гбит/с DSK в сети 50 ГГц. // Электросвязь, № 6, 2012, стр 40–44.

20. Костерев С.В., Лапишин Б.А., Матвейкин Г.В. Каналообразующая аппаратура волоконно-оптических систем передачи со спектральным разделением каналов// Электросвязь, №2, 2013. стр 34–38.

21. Лапишин Б.А. Базовые компоненты волоконно-оптических систем передачи со спектральным разделением каналов. // Электросвязь, № 2, 2013. стр 45–48.

2-bo'lim

OPTIK ALOQA TIZIMLARINING AKTIV ELEMENTLARI

3-bob. OPTIK ALOQA TIZIMLARIDA QO'LLANILADIGAN YORUG'LIK MANBALARI

3.1. Optik aloqa tizimlarida qo'llaniladigan yorug'lik manbalariga qo'yiladigan talablar va ularning turlari

Tolali optik aloqa tizimlarida elektr signalini yorug'lik signaliga o'zgartirib uzatuvchi optoelektron moduli tomonidan amalga oshiriladi.

Yorug'lik manbayi uzatuvchi optoelektron modulning asosiy elementi hisoblanadi, aynan shu element yordamida bu modul kirishidagi elektr signallari uning chiqishida yorug'lik signallariga o'zgartirib beriladi.

Tolali optik aloqa tizimlarida qo'llaniladigan yorug'lik manbalariga quyidagi talablar qo'yiladi:

- yorug'lik manbayi optik kabelning ko'ndalang kesimiga muvofiq o'lchamlarga ega bo'lishi kerak;

- signalni uzoq masofaga uzatish uchun yorug'lik manbayi yetarli darajada katta quvvatga ega bo'lishi kerak;

- nurlanish quvvatining yorug'lik manbayidan chiqishidagi yo'qotishlarni imkon qadar kamaytirish uchun yorug'lik manbayi optik zichligi bo'yicha optik tola bilan muvofiqlashgan bo'lishi, boshqacha aytganda, uning sindirish ko'rsatkichi optik tolaning sindirish ko'rsatkichiga yaqin bo'lishi kerak;

- yorug'lik manbayining nurlanishi optik tolaning shaffoflik «darcha» laridan biriga mos kelishi kerak. Hozirgi kunda qo'llanishda bo'lgan optik tolalarda yorug'likning tarqalish jarayonida yutilishi va boshqa turdagi yo'qotishlar juda kam sodir bo'ladigan uchta ana shunday «darcha» mavjud. Ularning markazlari quyidagi to'lqin uzunliklariga mos keladi: $\lambda=850\text{ nm}$; $\lambda=1300\text{ nm}$; $\lambda=1550\text{ nm}$;

- axborotlarni talab etilgan tezliklarda uzatishni ta'minlash uchun yorug'lik manbayi yetarli darajada katta modulyatsiya chas-totalarida ishlay olishi kerak;

- haroratning o'zgarishlari yorug'lik manbayi ishiga imkon qadar kam ta'sir qilishi kerak;
- yorug'lik manbayining tannarxi nisbatan arzon bo'lishi kerak;
- yorug'lik manbayining xizmat muddati yetarli darajada katta bo'lishi kerak.

Bugungi kunda tolali optik uzatish tizimlarida bu talablar majmuiga javob beradigan yorug'lik manbalarining ikki turi – yarimo'tkazgichli yorug'lik diodlari va injeksion lazer diodlaridan foydalaniladi. Quyida ularning ish mexanizmlari, xarakteristikalari va parametrlarini batafsil ko'rib chiqamiz.

3.2. Yorug'lik diodlari

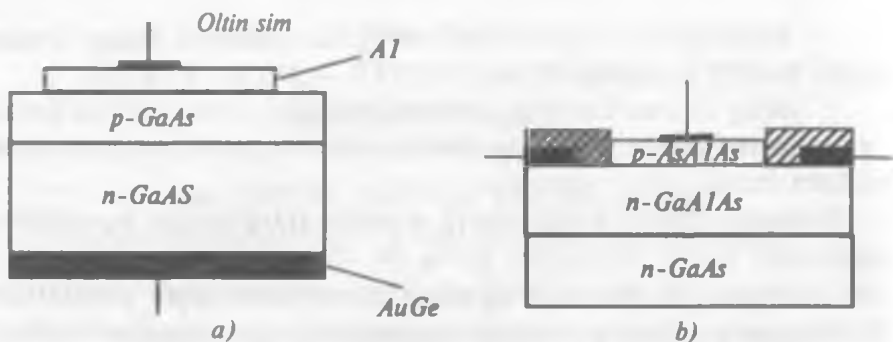
3.2.1. Yorug'lik diodi, uning tuzilishi va ish mexanizmi

Yorug'lik diodi nomonoxromatik va nokogerent nurlanish manbayi bo'lib, uni tayyorlashda GaAs, GaAlAs, InGaAsP, GaP, SiC kabi to'g'ri zonali yarimo'tkazgich materiallardan foydalaniladi.

3.1-a rasmda GaAs asosidagi yorug'lik diodining odatiy tuzilishi ko'rsatilgan. U n turdagi GaAs qatlami sirtiga rux atomlarini diffuziya qilib, p – GaAs qatlamini shakllantirish va shu tariqa p - n o'tishli tuzilma hosil qilish yo'li bilan tayyorlanadi. So'ngra p – GaAs va n – GaAs qatlamlarining tashqi sirlari mos ravishda aluminiyli va AuGe aralashmali pardasimon metallashtirilgan qatlamlar bilan qoplanadi va ularga oltin simli chiqqichlar o'rnatiladi. Asbob asosini tashkil etgan kristallning yuza sirti o'lchamlari 0,3 – 0,5 mm li kvadrat ko'rinishiga ega bo'ladi.

Tolali optik aloqa tizimlarida nurlanuvchi sirt yuzasi nisbatan kichik o'lchamli ($d \approx 50$ mkm) yorug'lik diodlaridan foydalaniladi (3.1-b rasm). Buning uchun yorug'lik diodi emitter sohasi (p – GaAs sohasi)ning chetki qismlari protonlar bilan bombardimon qilinadi. Natijada bu qismlar nurlanish sohasini cheklovchi amorf tuzilishli dielektrik qatlamga aylanadi.

Injeksion yorug'lik diodi (uni bundan keyin qisqacha qilib, yorug'lik diodi deb ataymiz) p - n tuzilishli optoelektron asbob bo'lib, uning ish mexanizmi to'g'ri ulangan p - n o'tish orqali n sohadan p sohaga injeksiyalanayotgan elektronlar va p sohadan n sohaga



3.1-rasm. Yorug'lik diodining tuzilishi

injeksiyalanayotgan kovaklarning o'zaro rekombinatsiyasi jarayonidan foydalanishga asoslangan (3.2-rasm).

Bu jarayon natijasida elektronlar yuqori energiyali qo'zg'algan holatdan (o'tkazuvchanlik energetik sohasidan) quyi energiyali qo'zg'alman holatga (valent elektronlarining energetik sohasiga) o'tib, $p\text{-}n$ o'tish va unga yaqin hajmiy fazoda energiyasi quyidagi munosabat bilan aniqlanadigan fotonlar — yorug'lik nurlanishi hosil bo'ladi:

$$h\nu \geq \Delta W_{\text{mes}} \quad (3.1)$$

bunda

h — Plank doimiysi; ν — yorug'lik chastotasi;

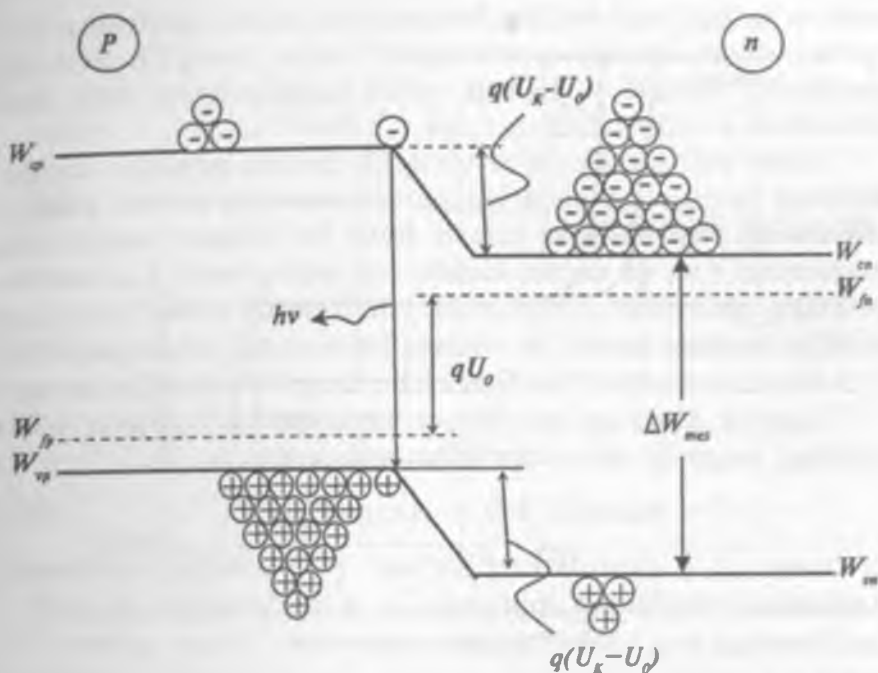
W_{mes} — yarimo'tkazgich materiali man etilgan energetik sohasining kengligi.

3.2.2. Yorug'lik diodining asosiy xarakteristikalar va parametrlari

Yorug'lik diodi quyidagi asosiy xarakteristikalar bilan tafsivlanadi:

- volt-amper xarakteristika;
- vatt-amper xarakteristika;
- spektral xarakteristika;
- yo'nalganlik diagrammasi.

Quyida bu xarakteristikalar bilan qisqacha tanishib chiqamiz.



3.2-rasm. To'g'ri yo'nalishda ulangan yorug'lik diodining energetik diagrammasi

Yorug'lik diodining volt-ampér xarakteristikasi

Yorug'lik diodi o'zgarmas tok elektr zanjirining elementi sifatida volt-ampér xarakteristikasi, ya'ni diodga qo'yilgan kuchlanish va undan oqib o'tayotgan tok orasidagi bog'lanish bilan tafsivlanadi (3.3-rasm). To'g'ri yo'nalishda, ya'ni yorug'lik diodiga qo'yilgan kuchlanishning musbat qiymatlarida, undan noasosiy zaryad tashuvchilarning injeksiyasi tufayli hosil bo'ladigan tok oqib o'tadi va bu xarakteristika barcha diodlar uchun xos bo'lgan nochiziqli (eksponensial) ko'rinishga ega. Chizmalardan ko'rinadiki, bu yo'nalishda oqib o'tadigan tokning keskin ortishi turli yorug'lik diodlari uchun turli kuchlanishlarda, chunonchi, GaAs diodi uchun 1 V, InGaAsP diodi uchun 0,8 V atrofida yuz beradi. Bu hol yorug'lik diodlarini tayyorlash uchun ishlatiladigan yari-mo'tkazgich materiallari man etilgan energetik sohalari kengligining

turlicha bo'lishi bilan bog'liq. Nurlanish chastotasi qanchalik kichik (ya'ni, to'lqin uzunligi qancha katta) bo'lsa, yorug'lik diodidagi kuchlanish tushishi va demak, elektr energiyasining isrofi ham shunchalik kichik bo'ladi.

Teskari yo'nalishda, ya'ni yorug'lik diodiga qo'yilgan kuchlanishning manfiy qiymatlarida, undan noasosiy zaryad tashuvchilarning ekstraksiyasi tufayli hosil bo'ladigan juda kichik miqdordagi (nA va undan kichik) tok oqib o'tadi. U_{rest} kuchlanishning muayyan qiymatlarida p - n o'tishda sodir bo'ladigan teshilish hodisasi sababli bu tokning keskin ortib ketishi kuzatiladi (3.3-rasmda keltirilgan koordinata tizimining 4-kvadrantiga qarang).

Yorug'lik diodining volt-ampere xarakteristikasi umumiy holda quyidagi miqdoriy munosabat bilan aniqlanadi:

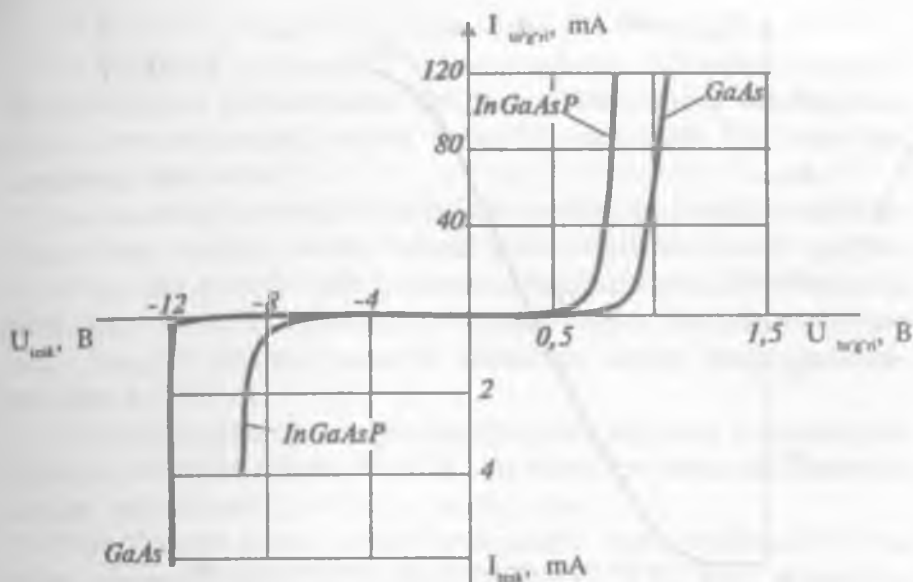
$$I = A_1 \exp(qU/kT) + A_2 \exp(qU/nkT), \quad (3.2)$$

bunda, q — elektronning zaryadi; U — dioddagi kuchlanish tushishi, k — Boltsman doimiysi; T — absolut harorat; A_1 va A_2 — kuchlanishga bog'liq bo'lmagan parametrlar, n -son qiymati 2+4 oralig'ida yotgan o'lchamsiz kattalik. Bu kattalikning qiymati U kuchlanishning o'zgarishi bilan biroz o'zgarishi mumkin.

(3.2) munosabatdagi birinchi had yorug'lik diodining p - n o'tishi orqali oqib o'tayotgan rekombinatsiya tokini, ikkinchi had esa nurlanish bilan bog'liq bo'lmagan sizish tokini ifodalaydi.

Yorug'lik diodining volt-ampere xarakteristikasidan uning bir qator parametrlari, chunonchi, oqib o'tayotgan tokning berilgan qiymatlariga mos kelgan statik qarshilik R_n , differensial qarshilik R_{dif} , to'g'ri yo'nalishda tokning keskin ortishiga mos kelgan bo'sag'a kuchlanishi $U_{\text{bo'sa}}$, tokning nominal qiymatiga mos kelgan U_{nom} kuchlanish, shuningdek, teskari yo'nalishda ulangan diodning p - n o'tishida sodir bo'ladigan teshilish hodisasiga mos kelgan teshilish kuchlanishi U_{tsh} ni aniqlash mumkin.

3.3-rasmdan ko'rinadiki, yorug'lik diodiga qo'yilgan kuchlanishning ozgina o'zgarishi tok qiymatining keskin o'zgarishiga olib keladi. Boshqacha aytganda, u tok bilan boshqariladigan asbob hisoblanadi. Bu hol yorug'lik diodining ish rejimini ta'minlash uchun unga ketma-ket ravishda cheklovchi qarshilikni ulashni talab etadi.



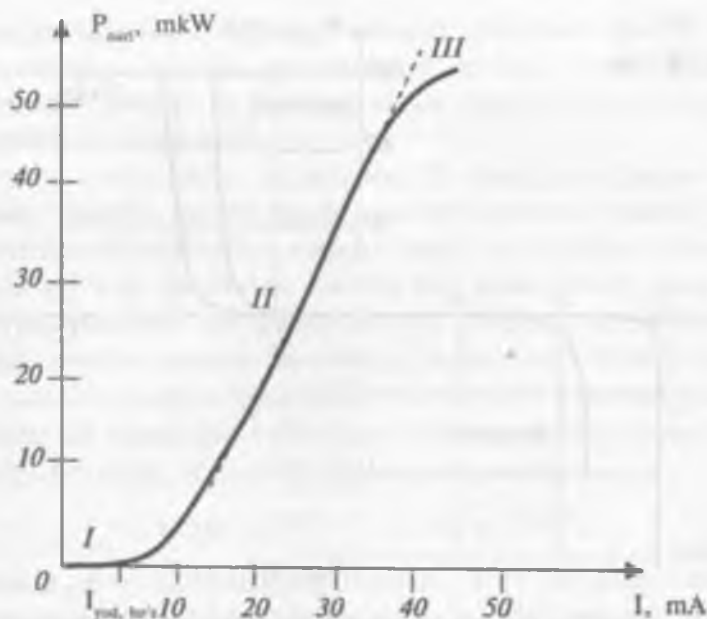
3.3-rasm. GaAsP va InGaAs asosida tayyorlangan yorug'lik diodlarining volt-ampere xarakteristikalari

Yorug'lik diodidan oqib o'tadigan tok va uning nurlanish quvvati orasidagi bog'lanishni ifodalovchi egri chiziq vatt-ampere yoki yorqinlik xarakteristikasi deb ataladi. Bu xarakteristika yorug'lik diodini tafsivlovchi eng muhim xarakteristikalardan biri hisoblanadi. Uning odatiy ko'rinishi 3.4-rasmda ketirilgan.

Rasmdan ko'rinaldiki, asbobdan oqib o'tayotgan tokning ortishi bilan uning nurlanish quvvati parabolik qonun bo'yicha ortadi. Bunda tok qiymatining 40–50 mA largacha ortishi nurlanish quvvatining 50–60 mkW largacha ortishiga olib keladi.

Vatt-ampere xarakteristikasini shartli ravishda uchta bo'lak — nurlanish quvvatining kichik qiymatlariga mos keluvchi nochiziqli boshlang'ich birinchi bo'lakdan, bu quvvatning bir-ikki tartibga ortishiga mos keladigan, deyarli to'g'ri chiziqli ikkinchi bo'lakdan va nihoyat, nurlanish quvvati to'yinishga chiqadigan uchinchi bo'lakdan iborat deb qarash mumkin.

Vatt-ampere xarakteristikasini umumiy holda ko'rsatkichli funksiya ko'rinishidagi quyidagi munosabat orqali ifodalash mumkin:



3.4-rasm. Yorug'lik diodining vatt-ampere xarakteristikasi

$$P = bI^n, \quad (3.3)$$

bunda $n = n(j, \lambda, T, P)$, ya'ni tokning zichligi, nurlanish to'liqin uzunligi, ishchi harorat va nurlanish quvvatiga bog'liq kattalik. Uy harorati sharoitida GaAs diodi uchun bu kattalikning son qiymati 1,2+1,3 oraliqda yotadi.

Yorug'lik diodi vatt-ampere xarakteristikasining chiziqli bo'lagini quyidagi munosabat orqali ifodalash mumkin:

$$P = \eta_{\text{chiq}} h\nu (\eta_{\text{ichki}} I/q), \quad (3.4)$$

bunda η_{chiq} — nurlanishning chiqish jarayonidagi f.i.k., η_{ichki} — yorug'likning ichki (generatsiyalanish jarayonidagi) f.i.k., I/q — aktiv qatlamga vaqt birligida injeksiyalanadigan noasosiy zaryad tashuvchilarning soni.

Agar nurlanishli va nurlanishsiz rekombinatsiyaning yashash (ro'y berish) vaqtini mos ravishda $\tau_{\text{nurl.r}}$ va $\tau_{\text{nurlsiz.r}}$ orqali belgilasak, yorug'lik nurlanishining f.i.k. ni quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\eta_{nurl.r} = (1 + \tau_{nurl.r} / \tau_{nurl.siz.r})^{-1} \quad (3.5)$$

Bu ifodadan ko'rinadiki, rekombinatsiya ehtimolligi yashash vaqtiga teskari proporsional bo'lgani uchun uning nurlanishsiz tashkil etuvchisining ortishi yorug'lik nurlanishi f.i.k.ning kamayishiga olib keladi.

η_{chiq} kattaligi generatsiyalanadigan nurlanishning aktiv qatlami-ning o'zida yutilishi, uning kristall yon sirtlaridan Frenel qaytishi va to'liq ichki qaytishi tufayli kamayishini ifodalaydi. $P/h\nu$ kattaligi birlik vaqt ichida nurlanadigan fotonlar sonini ifodalagani uchun $\eta_{chiq} \cdot \eta_{ichki}$ ko'paytma yorug'lik diodining tashqi kvant samara-dorligini ko'rsatadi.

Ushbu kattalikning son qiymati yuza sirti bo'yicha nurlanadigan yorug'lik diodlari uchun 3 % ni, yon sirti bo'yicha nurlanuvchi diodlar uchun esa 0,5–1 % ni tashkil etadi.

(3.4) ifodaga ko'ra, yorug'lik diodidan oqib o'tadigan tok va uning nurlanish quvvati orasidagi bog'lanish η_{ichki} ning o'zgarmas qiymatlarida chiziqli ko'rinishga ega.

Amalda injeksiya tokining ortishi bilan nurlanishsiz rekombinatsiyaning ortishi tufayli vatt-amper xarakteristika 3.4-rasmda ko'rsatilganidek noxiziqli ko'rinish oladi.

Bu hol InGaAsP li yorug'lik diodlarida ayniqsa ko'zga tashlanadi. Yorug'lik diodlari vatt-amper xarakteristikasidagi bu noxiziqlik rekombinatsiya jarayonining quyidagi mexanizmlari – getero o'tish chegarasida sodir bo'ladigan rekombinatsiya jarayoni, noasosiy zaryad tashuvchilarning $p-n$ o'tishdan rekombinatsiyasiz uchib o'tishi jarayoni, Oje rekombinatsiya jarayoni kabi mexanizmlari tufayli yuzaga keladi.

Xususan, InGaAsP li yorug'lik diodlarida man etilgan energetik sohaning kengligi unchalik katta bo'lmagani uchun Oje rekombinatsiyasi effekti sezilarli tus oladi.

Bu effektning ta'siri zaryad tashuvchilar konsentratsiyasining kvadratiga proporsional tarzda ortadi.

Shu sababdan u kiritmalar konsentratsiyasi $5 \cdot 10^{18} \text{ sm}^{-3}$ dan katta bo'lgan hatto AlGaAs yorug'lik diodlarida ham sezilarli darajada namoyon bo'ladi.

Yorug'lik diodining spektral xarakteristikasi

Yorug'lik diodi nurlanish quvvati va nurlanish to'liq uzunligi yoki nurlanadigan fotonlar energiyasi orasidagi bog'lanish bu turdagi asbobning spektral xarakteristikasi deb ataladi. Bu xarakteristika yorug'lik diodini optik aloqa tizimlarida qo'llash nuqtayi nazaridan eng muhim xarakteristikalaridan biri hisoblanadi.

Nurlanish to'liq uzunligi yoki fotonlar energiyasi rekombinatsiya chog'ida elektronlarning o'tishi yuz beradigan energetik sathlarning farqi bilan aniqlanadi:

$$h\nu = W_2 - W_1, \quad (3.6)$$

bunda W_2 va W_1 — mos ravishda yuqori va quyi energetik sathlarning energiyasi.

Turli xil yarimo'tkazgich materiallarda man etilgan energetik sohaning kengligi turlicha bo'lgani uchun ulardan tayyorlangan yorug'lik diodlari har xil to'liq uzunliklarida nurlanadi. CaAs yarimo'tkazgich materiali asosida turli xil kiritmalar kiritish yo'li bilan tayyorlangan yorug'lik diodlarining odatiy xarakteristikalari 3.5-rasmda keltirilgan.

Noasosiy zaryad tashuvchilarning rekombinatsiyasi chog'ida elektronlarning kvant o'tishi ikki energetik sath orasida emas, bir-biriga juda yaqin joylashgan energetik sathlar guruhi orasida yuz bergani uchun nurlanish spektri birmuncha yoyilgan bo'ladi.

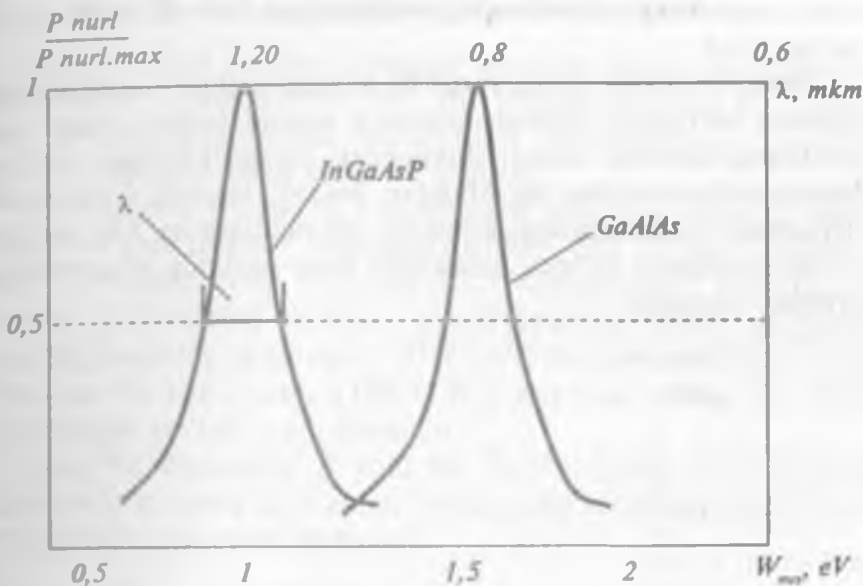
Spektral xarakteristikada nurlanish quvvati eng katta qiymatga erishadigan holatga mos kelgan to'liq uzunligi quyidagi munosabat bilan aniqlanadi:

$$\lambda_{\max} = hc / \Delta W_{\text{mes}}, \quad (3.7)$$

bunda c — yorug'likning vakumlari tezligi. Agarda bu ifodada $\Delta W_{\text{m.e.s.}}$ ni eV larda, to'liq uzunligi λ ni mkm larda o'lchasak, u quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\lambda_{\max} = 1,23 / \Delta W_{\text{mes}}. \quad (3.71)$$

Yorug'lik diodlarining spektral diapazoni nurlanish quvvatining eng katta qiymati yarmiga to'g'ri kelgan spektral kenglik bilan aniqlanadi (3.5-rasm).



3.5-rasm. InGaAsP va Ga As asosidagi yorug'lik diodlarining spektral xarakteristikalari

Agar yorug'lik diodining nurlanishi asosan $p-n$ o'tishni tashkil etgan yarimo'tkazgichlarning o'tkazuvchanlik va valent energetik sohalaridagi $3 kT$ kenglikdagi energetik sathlarga tegishli zaryad tashuvchilarning injeksiyasi va rekombinatsiyasi tufayli sodir bo'ladi deb farz qilsak, bu kenglikni quyidagi munosabat orqali ifodalash mumkin:

$$\Delta\lambda = \frac{3kT}{hc} \lambda^2, \quad (3.8)$$

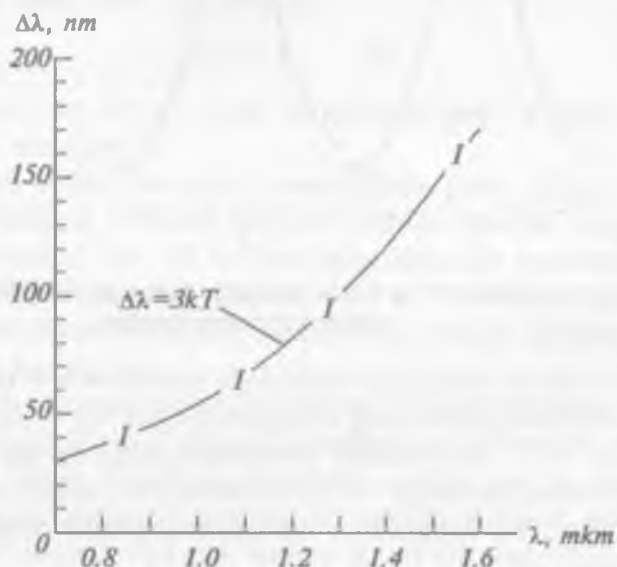
bunda k — Boltsman doimiysi, T — absolut harorat.

3.6-rasmda yorug'lik diodi nurlanishi spektral diapazonining kengligi va to'lqin uzunligi orasidagi bog'lanish keltirilgan. Unda uzluksiz chiziq orqali bu bog'lanishning yuqorida keltirilgan miqdoriy munosabat bo'yicha hisoblangan qiymatlari ko'rsatilgan. Chizmadan ko'rinadiki, hisoblash va tajriba natijalari 0,85–1,6 mkm to'lqin uzunliklarida, asosan, o'zaro mos keladi.

Chunonchi, InGaAsP yorug'lik diodlari uchun bu kenglik 1.3 mkm li to'lqin uzunligida $\Delta\lambda = 100 - 110$ nm ni, AlGaAs diordlari

uchun esa, 0,85 mkm li to'liq uzunligida $\Delta\lambda=30 - 45$ nm ni tashkil etadi.

Shuni ta'kidlash joizki, yorug'lik diodlari spektral xarakteristikalarining ko'rinishi, nafaqat ularning asosini tashkil etgan yari-mo'tkazgichlarning turiga, shuningdek, ularga kiritilgan kiritmalarning xiliga ham bog'liq. Masalan, InGaP, GaAsP, GaAlAs kabi uchlamchi birikmalardagi kimyoviy elementlarning foiz ulushiga qarab, nurlanish to'liq uzunligini keng oraliqda o'zgartirishga erishish mumkin.



3.6-rasm. Yorug'lik diodi spektral diapazoni $\Delta\lambda$ ning kengligi va to'liq uzunligi λ orasidagi bog'lanish (uzluksiz chiziq (3.8) munosabat bo'yicha hisoblash yo'li bilan olingan natijalarni ifodalaydi)

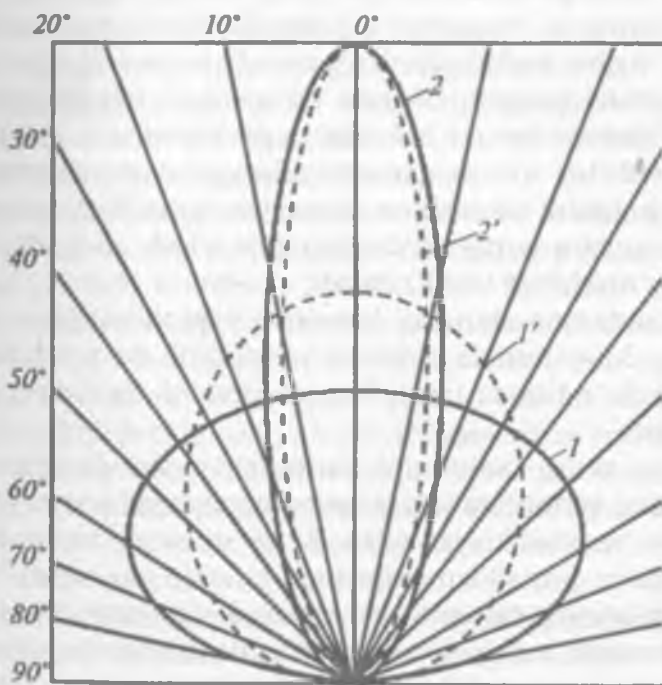
Keyingi vaqtda shisha (kvarts) tolali yorug'lik uzatgichlaridagi yo'qotishlar juda kichik bo'lgan uzun to'liqlik spektral diapazonni o'zlashtirishga katta e'tibor berilmoqda. Jumladan, GaInAsP/ InP tarkibli murakkab birikma tolali optik aloqa tizimlarida foydalanish mumkin bo'lgan yorug'lik manbalari uchun juda mos kelishi, undagi kimyoviy elementlarning tarkibini o'zgartirish yo'li bilan nurlanish to'liq uzunligini keng oraliqda ~1 mkm dan 1,6 mkm gacha o'zgartirish mumkinligi aniqlandi.

Yorug'lik diodi nurlanishining yo'nalganlik diagrammasi

Yorug'lik diodi nuqtaviy yorug'lik manbai sifatida yo'nalganlik diagrammasi bilan tavsiflanadi. Bu diagrammaning ko'rinishi yorug'lik diodining tuzilish xususiyatlari, shuningdek, p - va n -tur materiallarning xossalari bilan aniqlanadi.

Quyidagi chizmalarda (3.7-rasm) sferik tuzilishli GaAs (uzluksiz chiziqli) va yassi planar – epitaksial tuzilishli GaP (uzlukli chiziqlar) yorug'lik diodlarining yo'nalganlik diagrammalari keltirilgan. Ulardan ko'rinadiki, tuzilishi xususiyatlariga qarab, nuqtaviy yorug'lik diodining nurlanishi $\pm 10^\circ$ fazoviy burchak oralig'ida o'tkir yo'nalgan bo'lishi ham, $(130-140^\circ)$ burchak oralig'ida tekis taqsimlangan bo'lishi ham mumkin.

Yorug'lik diodining u yoki bu ko'rinishdagi yo'nalganlik diagrammasiga yorug'lik manbai bilan yaxlit tuzilishga ega bo'lgan qaytargichlar vositasida erishiladi.



3.7-rasm. Yorug'lik diodlarining yo'nalganlik diagrammalari:
1,1' – qaytargichsiz, 2,2' – qaytargichli GaAs va GaP diodlari

Gap shundaki, past haroratlarda va tokning yetarli darajada katta qiymatlarida p - n o'tishda rekombinatsiyalangan har bir elektron-kovak jufti bittadan foton hosil qiladi, boshqacha aytganda, nurlanishning kvant samaradorligi birga yaqin bo'ladi.

Biroq yassi tuzilishli diodlarda bu fotonlarning barchasi ham tashqariga chiqa olmaydi. Ularning ko'pchiligi to'la ichki qaytish hodisasiga ko'ra, diod chegarasidan qaytadi va yarimo'tkazgich materialli tomonidan qayta yutiladi.

Fizika kursidan ma'lumki, ikki muhit chegarasidan o'tayotgan nurlar konusini cheklovchi kritik fazoviy burchak quyidagi munosabat bilan aniqlanadi:

$$\theta_k = \arcsin(n_1/n_2), \quad (3.9)$$

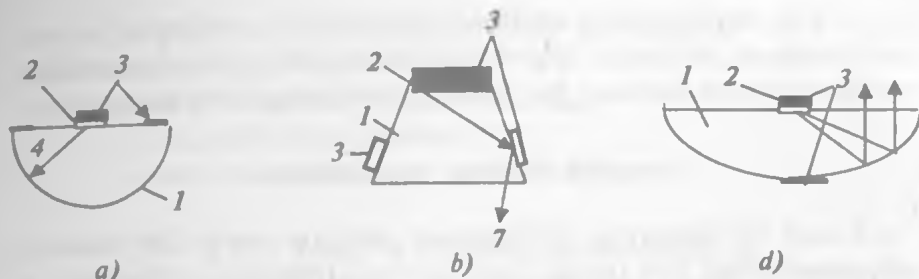
bunda n_1 va n_2 — tegishli muhitlarning sindirish ko'rsatkichlari. GaAs va havo o'rtasidagi chegara burchak θ_k taxminan 16° ga teng va bu konusga nurlanayotgan yorug'likning atigi 3,9% tushadi. Bundan tashqari, bu yorug'likning 35 foizi odatdagi Frenel qaytishiga duchor bo'ladi. Natijada havoga nurlanishning eng ko'pi bilan 2,6 foizi chiqadi. Bunda tashqariga chiqqan nurlanish taxminan kosinus qonuni bo'yicha taqsimlanadi.

Aktiv (ishchi) sohada generatsiyalangan nurlanishning tashqi muhitga chiqishini oshirish va uning yo'nalganlik diagrammasini yaxshilash uchun yorug'lik diodini tayyorlash chog'ida unga u yoki bu ko'rinishdagi shakl beriladi.

3.8-rasmda ana shunday konstruktiv yechimlardan uch xili keltirilgan. 3.8-a rasmda n -sohasi yarimsferik va p -sohasi yupqa yassi doira ko'rinishida tayyorlangan yorug'lik diodining tuzilishi ko'rsatilgan.

Agar p - n o'tish radiusining yarimsfera radiusiga nisbati $\sin\theta_k$ dan oshmasa, yarimsfera sirtiga yetib borgan barcha yorug'lik unga o'tkazilgan perpendikulyar bilan θ_k ga nisbatan kichik burchak hosil qiladi va kristalldan tashqariga chiqishi mumkin. Natijada yorug'lik diodining tashqi kvant samaradorligi taxminan 10 — 20 martagacha ortib, tashqariga chiqqan nurlanish barcha yo'nalishlar bo'yicha bir xil intensivlik bilan tarqaladi.

3.8-b rasmda n soha kesik konus ko'rinishida tayyorlangan yorug'lik diodiining tuzilishi keltirilgan.



3.8-rasm. Yorug'lik diodining turli xil ko'rinishdagi tuzilishlari:
sferik ko'rinishli tuzilish (a); kesik konus shakldagi tuzilish (b) va parabolik tuzilish (d) (1-n turdagi yarimo'tkazgich; 2-p turdagi meza tuzilish; 3-kontraktlar; 4-p-n o'tish sohasining radiusi)

Yorug'likning konussimon yon sirlardan to'liq ichki qaytishi bu holda $p-n$ o'tish tekisligiga o'tkazilgan perpendikulyar bilan katta burchak hosil qiluvchi nurlanishlardan ham foydalanish imkonini beradi.

Hisoblashlarning ko'rsatishicha, konussimon sirtning og'ish burchagi 45° ga teng qilib olingan maqbullashtirilgan variantda tashqariga chiqadigan nurlanish intensivligi taxminan bir tartibga ortadi. Konussimon sirt yaxshilab tekislansa, bu hol nurlanish yo'nalganligining ortishiga ham olib keladi.

Yorug'lik diodining sirtiga parabolik shakl berish yo'li bilan nokogerent nurlanish yo'nalganlik darajasining yanada yuqori bo'lishiga erishish mumkin (3.8-d rasm). Bu holda $p-n$ o'tish parabolik sirtning fokusiga joylashtiriladi va nisbatan kichik o'lchamli qilib tayyorlanadi. Natijada generatsiyalangan nurlanish orqa sirtidan to'liq ichki qaytib, old sirtga deyarli parallel ravishda chiqadi.

Yuqorida ko'rib chiqilgan, maxsus shakl berilgan yoritkich diodlarining umumiy kamchiligi shundaki, ularni tayyorlash nisbatan murakkab va shu sababli qo'shimcha sarf-xarajat talab qilinadi.

Agar tashqi muhit sifatida havodan emas, sindirish ko'rsatkichi yoritkich diodi materialining sindirish ko'rsatkichiga yaqin shaffof modalardan foydalanilsa yoki diod sirti ravshanlantiruvchi maxsus qatlam bilan qoplansa, yassi tuzilishga ega bo'lgan yoritkich diodlarida ham kristall tashqarisiga chiqadigan yorug'lik intensivligini anchaga oshirish mumkin. Optik tolali uzatish tizimlarining uzatuvchi modulida aynan shu usuldan foydalaniladi.

3.1-b rasmda tolali optik aloqa tizimlarida ishlatish uchun mo'ljallangan, infraqizil diapazonda nurlanuvchi, katta tezkorlikka ega bo'lgan ana shunday yoritkich diodining tuzilishi ko'rsatilgan.

Yorug'lik diodining degradatsiyasi

Yorug'lik diodining foydalanish nuqtayi nazaridan muhim xususiyatlaridan biri uning degradatsiyasi (eskirishi), ya'ni to'g'ri yo'nalishda uzoq vaqt davomida oqib o'tadigan tok ta'sirida nurlanish quvvatining asta-sekin kamayishi bilan bog'liq. Bu hodisaning mohiyati shundaki, konentratsiyasi nazorat qilib bo'lmaydigan darajada kam bo'lgan kiritmalarning, jumladan, mis, oltin, nikel va boshqa elementlar atomlarining p - n o'tish elektr maydonidagi siljishi nurlanishsiz rekombinatsiya markazlari konsentratsiyasining ortishiga olib keladi. Shuningdek, nurlanuvchi markazlarning bir qismi kristall panjaraning tugunlaridan tugunlararo oraliqqa siljib qoladi va shu tariqa dezaktivatsiyalanadi (nurlanmaydigan bo'lib qoladi). Tajribadan aniqlanishicha, yorug'lik diodi nurlanish quvvatining kamayishi quyidagi eksponensial qonun bo'yicha ro'y beradi:

$$P_{\text{nurl}}(t) = P_{\text{nurl}}(0) \exp(-t/t_{\text{degr}}), \quad (3.10)$$

bunda $P_{\text{nurl}}(0)$ — boshlang'ich nurlanish quvvati, t_{degr} — degradatsiya jarayoni tezligini tafsivlovchi vaqt doimiysi, u nurlanish quvvatining e marta kamayishi ro'y beradigan vaqtni ko'rsatadi.

Ko'pchilik yorug'lik diodlari uchun bu kattalikning qiymati $10^5 + 10^6$ soatni tashkil etadi.

Yorug'lik diodining parametrlari

Yorug'lik diodlari ulardan foydalanish nuqtayi nazaridan quyidagi parametrlar bilan tafsivlanadi:

- nurlanish quvvatining eng katta qiymati $P_{\text{nurl.max}}$;
- nurlanish quvvatining eng katta qiymatiga mos kelgan to'liq uzunligi λ_{max} ;
- spektral xarakteristikaning yarim kengligi $\Delta\lambda$;

- to'g'ri tok $I_{\text{to'g'ri}}$ ning berilgan qiymatlariga mos kelgan nurlanish quvvati P_{nurl} ;
- ulanish va uzilish vaqtlari τ_{ulan} , τ_{uzil} ;
- yo'nalganlik diagrammasi $P(\theta)$;
- xizmat muddati.

3.2.3. Yorug'lik diodining xarakteristika va parametrlariga tashqi omillarning ta'siri

Bu xarakteristika va parametrlarning ta'riflari yuqorida – ushbu paragrafning tegishli bandlarida ko'rib chiqilgan. Mazkur xarakteristikalarining ko'rinishi va parametrlarning kattaligiga tashqi va ichki omillarning ta'siri bo'yicha GaAs, GaAlAs, GaAsP yorug'lik diodlari uchun quyidagi umumiy qonuniyatlar kuzatiladi:

- haroratning ortishi yarimo'tkazgich materiali man etilgan energetik sohasining kengligi va demak, nurlanish quvvatining eng katta qiymatiga to'g'ri kelgan to'lqin uzunligi λ_{max} ning birmuncha ortishiga olib keladi;

- spektral xarakteristikalarining 30–100 nm ni tashkil etgan yarimkengligi haroratning ortishi bilan quyidagi chiziqli qonun bo'yicha ortadi: $\Delta\lambda/T \approx 0,3 \text{ nm/grad}$;

- haroratning ortishi nurlanish quvvatining ham kamayishiga olib keladi. Yorug'lik diodining nurlanish quvvati va harorat orasidagi bog'lanish quyidagi eksponensial qonunga bo'ysinadi:

$$P_{\text{nurl}}(T) = P_{\text{nurl}}(T_0) \exp [-k (T - T_0)], \quad (3.11)$$

bunda $P_{\text{nurl}}(T)$ va $P_{\text{nurl}}(0)$ – nurlanish quvvatining mos ravishda T va T_0 haroratlardagi qiymatlari.

Chunonchi, haroratning -60° dan $+70^\circ$ gacha ortishi nurlanish quvvatining chiziqli ravishda 2–3 marta kamayishiga olib keladi;

- agar kristallning qizishi ro'y bermasa, P_{nurl} ning to'g'ri tokning zichligi j ga bog'liqligi $j = 10^2 + 10^3$ largacha to'g'ri chiziqli ko'rinishga ega bo'ladi;

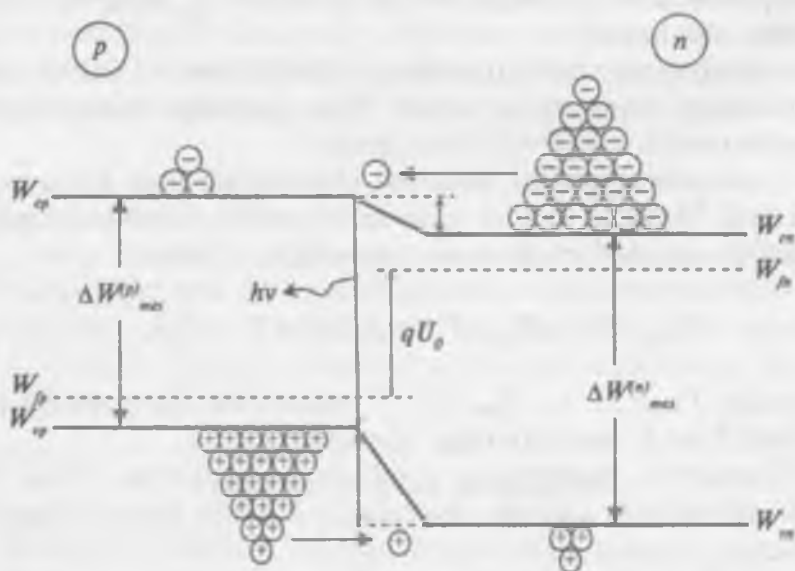
- haroratning o'zgarishi almashlab ulash vaqtlarining qiymatlariga deyarli ta'sir etmaydi;

– to‘g‘ri tokning ortishi uzilish vaqti τ_{uz} ning ortishiga va ulanish vaqti t_{ul} ning biroz kamayishiga olib keladi.

3.2.4. Getero tuzilishli va super nurlanuvchi yorug‘lik diodlari

Yorug‘lik diodining nurlanish samaradorligini oshirish va nurlanish sohasi o‘lchamlarini ixchamlashtirish uchun getero o‘tishli tuzilmalardan foydalaniladi. Bunday tuzilmalarda yorug‘lik diodining emitter va baza sohalari man etilgan energetik sohalarning kengligi o‘zaro farq qiluvchi turli xil yarimo‘tkazgichlardan tayyorlanadi. 3.9-rasmda ana shunday tuzilishga ega bo‘lgan yorug‘lik diodining energetik diagrammasi keltirilgan.

Energetik diagrammadan ko‘rinadiki, yorug‘lik diodi to‘g‘ri ulanganda elektronlar uchun energetik to‘siqning balandligi kovaklar uchun potensial to‘siqning balandligidan kichik bo‘ladi.



3.9-rasm. Getero tuzilishli yorug‘lik diodining energetik diagrammasi

Shu sababdan elektronlarning n -emitter sohasidan p -baza sohasiga injeksiyasi kovaklarning teskari yo‘nalishdagi injeksiyasiga qaraganda ko‘proq bo‘ladi.

Natijada elektronlarning kovaklar bilan rekombinatsiyasi tufayli yuzaga keladigan nurlanish baza sohasining p - n o'tishga yondosh yupqa qatlamida yuz beradi. p -baza sohasi sindirish ko'rsatkichining n -emitter sohaning sindirish ko'rsatkichiga nisbatan biroz kattaligi bu tadbir samaradorligining ortishiga ko'maklashadi.

Getero o'tishli diodlarda ularga qo'yilgan katta kuchlanishlarda o'tkazuvchanlik energetik sohasidagi elektronlar konsentratsiyasi valent energetik sohasidagi yuqori energetik sathlardagi elektronlar konsentratsiyasidan katta bo'lib qolishi, ya'ni mazkur energetik sathlarning teskari egallanganligiga erishish mumkin. Bu holda spontan o'tishlar hisobiga hosil bo'lgan yorug'lik kvantlari – fotonlarning qisman yutilishi tufayli majburiy nurlanishning vujudga kelishi va bu nurlanishning kuchayishi hodisasi kuzatiladi. Natijada nurlanish quvvati va uning spektral tarkibi o'zgaradi. Bu turdagi yorug'lik diodlari superluminessent diodlar degan nom olgan.

3.2.5. Yorug'lik diodlarining tolali optik aloqa tizimlarida qo'llanilishi

Yorug'lik diodlari lazer diodlari bilan bir qatorda uzunligi unchalik katta bo'lmagan tolali optik aloqa tizimlarida keng qo'llaniladi (lokal optik tarmoqlar uchun bu uzunlik 2 km gacha, qisqa optik seksiyalar uchun 15 km gacha masofani tashkil etadi). Jumladan, Rossiya mamlakati bo'yicha optik texnologiyalar va yechimlarga oid o'tkazilgan tahlillarning ko'rsatishicha, 2 dan 155 Mbit/s gacha tezlikdagi axborot oqimlarini uzatishga mo'ljallangan uncha katta bo'lmagan uzunlikdagi tolali optik aloqa tizimlari, ayniqsa, lokal tolali tizimlari uzatish liniyalarining aksari ko'pchiligini tashkil etadi.

Bu hol yorug'lik diodlarining quyidagi xususiyatlari (afzalliklari) bilan bog'liq:

- optik tolaning nobirjinsligi lazer diodlaridan farqli ravishda yorug'lik diodlari nurlanishning tarqalishiga ta'sir etmaydi;

- yorug'lik diodi nurlanishining bo'sag'a xususiyatidan holisligi uning haroratga bog'liq va elektr rejimlarini barqarorlashtirishga oid talablarni birmuncha yumshatish imkonini beradi;

— yorug'lik diodlarida katastrofik degradatsiya hodisasi ro'y bermaydi.

3.1-jadvalda «Nolates» va «Telaz» kompaniyalari (Rossiya) tomonidan qisqa va o'rtacha uzunlikdagi tolali optik aloqa tizimlari uchun mo'ljallab, yon tomonidan nurlanadigan yorug'lik diodi asosida ishlab chiqarilgan uzatuvchi optoelektron modulning asosiy parametrlari keltirilgan.

3.1-jadval

**Yorug'lik diodi asosidagi uzatuvchi
optoelektron modullar**

Modul turi	TSD-1300	TSD-1550	POM-460m	ILPI-360
Ishlab chiqaruvchi	Nolates	Nolates	Telaz	Telaz
Maksimal uzatish tezligi, Mbit/s	160	160	34	80
Nurlanish quvvati, mkW	15-40	15-40	60 (KMT) 20 (BMT)	25 (KMT) 4 (BMT)
Nurlanish to'lqin uzunligi, nm	1270-1330	1510-1560	1250-1350	1250-1350
Nurlanish spektrining yarimkengligi, nm	30-70	30-70	50	—
Ulash-uzish jarayonining davomiyligi, ns	—	—	2-3	—
Ishchi tok, mA	30-50	30-70	35-70	50-70
Ishchi kuchlanish, V	1,3-1,7	1,3-1,7	4,5-5,5	4,5-5,5

Jadvalda keltirilgan modullar uzluksiz va impuls rejimlarda sovitkichlarsiz ishlaydi.

Hozirgi vaqtda tolali optik aloqa tizimlarining uzatuvchi optoelektron modullarida superluminessent diodlardan ham foydalaniladi (3.2-jadval).

**Superlyuminescent diodlar asosidagi uzatuvchi
optoelektron modullar**

Modul turi	SLD-1060	SLD-1300	SLD-1550
Ishlab chiqaruvchi	Nolatex	Nolatex	Nolatex
Nurlanish quvvati, mW	1–10	1–5	1–10
Nurlanish to'liq uzunligi, nm	1057–1068	1270–1330	1530–1560
Nurlanish spektrining yarimkengligi, ns	25–35	25–40	30–40
Ulash-uzish vaqtining davomiyligi, ns	—	—	2–3
Ishchi tok, mA	150–400	150–400	150–400
Ishchi kuchlanish, B	1,3–2,	1,3–2,0	1,3–2,0
Ishchi harorat, °C	–40...+70	–40...+70	–40...+70

3.3. Lazer diodlari

Lazer diodlari, yuqorida qayd etilganidek, kogerent va monoxromatik nurlanish manbalari bo'lib, ularning ish prinsipi kvant mexanikasining o'ziga xos quyidagi fizik jarayonlaridan foydalanishga asoslangan.

3.3.1. Kvant asboblarning ish prinsipiga oid fundamental fizik jarayonlar – energetik sathlarning teskari egallanganligi, majburiy nurlanish.

Ma'lumki, mikrozarralar – molekulalar, atomlar, ionlar, yadrolar va elektronlarning harakati kvant mexanikasi qonunlariga bo'ysinadi. Shu sababli bunday zarrachalar majmuyi *kvant tizimlari* deb ataladi. Kvant tizimlarining o'ziga xos jihati shundaki, ular tarkibidagi zarrachalarning energiyasi kvantlangan bo'ladi, ya'ni muayyan diskret qiymatlarni qabul qiladi.

Mikrozarrachalarning harakatini 4 turga ajratish mumkin:
– elektronlarning atomdagi harakati;

- atomlarning molekuladagi tebranma harakati;
- molekulalarning aylanma harakati;
- atomlar va molekulalarning ilgarilanma harakati.

Bu harakatlarning birinchi uchta energiya bo'yicha kvantlangan bo'ladi. Energiyaning diskret qiymatlari majmuyi energetik tizim hosil qiladi.

Elektron sathlar energetik tizimning asosini tashkil etadi va bu sathlar bir-biridan 1–10 eV oraliqda joylashadi. Elektron sathlar orasida atomlarning tebranma harakatiga tegishli sathlar (THS) joylashadi va ular orasidagi energetik farq taxminan 0,1 eV ni tashkil etadi. Tebranma harakat sathlari orasida molekulalarning energetik oralig'i 10^{-3} eV ni tashkil etgan aylanma harakati sathlari (AHS) joylashadi (3.10-rasm).



3.10-rasm. Kvant tizimidagi energetik sathlarning turlari

Qattiq jismlarda mikrozarrahalarining o'zaro ta'siri juda kuchli bo'lib, energiyaning diskret qiymatlari bir-biriga juda yaqin joylashgan bo'ladi.

Energetik sathlarning bunday majmuyi – energetik sohalarni hosil qiladi. Bir-biriga qo'shni joylashgan energetik sohalar – man etilgan energetik soha bilan ajratilgan bo'ladi (3.11-rasm).



3.11-rasm. Yarimo'tkazgichning energetik diagrammasi

Ushbu rasmda W_c – o'tkazuvchanlik energetik sohasining tubini, W_v – valent energetik sohaning shipini ifodalaydi. Mikrozararlarning bir energetik sathdan boshqasiga o'tishi *kvant o'tish* deb ataladi. Kvant o'tish vaqtida

$$h\nu_{ji} = W_j - W_i \quad (3.12)$$

munosabat bilan aniqlanadigan energiya ajralib chiqadi yoki yutiladi.

Bu munosabatdan aniqlanadigan

$$\nu_{ji} = (W_j - W_i) / h \quad (3.13)$$

chastota *kvant o'tish chastotasi* deb ataladi.

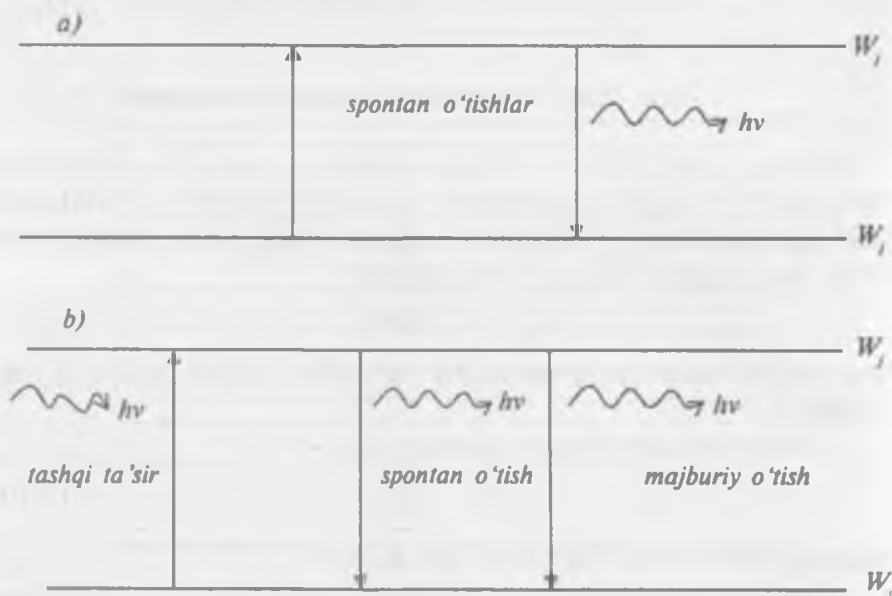
Mikrozarrachalarning bir elektron sathdan boshqa elektron sathga o'tishi natijasida ultrabinafsha, ko'zga ko'rinadigan va infraqizil nurlanish, ularning bir tebranma harakat sathidan boshqa tebranma harakat sathiga o'tishi natijasida infraqizil nurlanish, bir aylanma harakat sathidan boshqa aylanma harakat sathiga o'tishi natijasida esa, o'ta yuksak chastotali (O'YCh) nurlanish hosil bo'ladi.

Mikrozarrachalarning bir energetik sathdan boshqasiga o'z-o'zidan, ya'ni tashqi ta'sirsiz o'tishi *spontan o'tish* deb ataladi.

Spontan o'tish natijasida turli chastotali, faza jihatdan bir-biridan farq qiladigan, turli yo'nalishlar bo'yicha tarqaladigan, qutblanish tekisligi turlicha bo'lgan fotonlar hosil bo'ladi (3.12-a rasm).

Mikrozarrachalarning bir energetik sathdan boshqa energetik sathga tashqi elektromagnit nurlanish ta'sirida o'tishi *majburiy o'tish* deb ataladi. Bunda energiya yutilishi yoki ajralishi mumkin (3.12-b rasm).

Yuqori energetik sathdan quyi energetik sathga majburiy o'tish sodir bo'lganida tashqi elektromagnit nurlanish fotonlariga aynan o'xshash fotonlar — fotonlar hosil bo'ladi. Bu holda hosil bo'lgan fotonlarning chastotasi, fazasi, tarqalish yo'nalishi, qutblanish tekisligi bir xil bo'ladi.



3.12-rasm. Spontan va majburiy o'tishlar

Odatda, ya'ni termodinamik muvozanat holatida yuqori energetik sathlar mikrozarrachalar tomonidan quyi energetik sathlarga nisbatan kamroq egallangan bo'ladi.

Bu holda mikrozarrachalarning energetik sathlar bo'yicha taqsimoti quyidagi munosabat bilan aniqlanadi:

$$N_j = N_i \exp \left[-(W_j - W_i) / kT \right], \quad (3.14)$$

bunda, N_j va N_i lar j -i va i -i energetik sathlarning mikrozar-rachalar bilan egallanganligi.

(3.14) munosabat *Boltsman taqsimoti* deb ataladi.

Agar kvant tizimiga tashqaridan ta'sir ko'rsatib, uni nomuvo-zanatli holatga o'tkazilsa, yuqorigi energetik sathlar quyi energetik sathlarga nisbatan ko'proq egallanib qolishi mumkin. Energetik sathlarning bunday egallanishi *teskari egallanganlik* yoki *invers egallanganlik* deb ataladi.

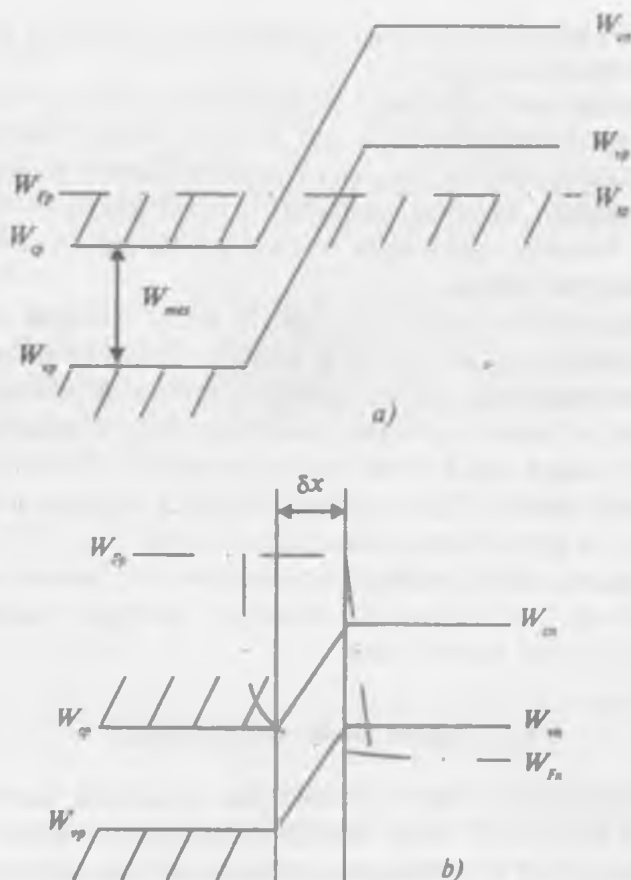
Energetik sathlari teskari egallangan kvant tizimiga energiyasi energetik sathlarning farqiga teng kvantlar bilan ta'sir qilinsa va majburiy nurlanishning ulushi spontan nurlanish ulushiga qara-ganda katta bo'lishiga erishilsa, nurlanishning kuchayishi sodir bo'ladi. Bu hodisa optik kvant kuchaytirgichlari ish prinsipining asosini tashkil etadi. Mazkur kvant tizimida, bunga qo'shimcha tarzda teskari bog'lanish hosil qilish choralari ko'rilsa, u o'z-o'zidan uyg'onish (qo'zg'alish) rejimiga o'tadi. Bunday jarayon kogerent va monoxromatik nurlanish manbayi bo'lgan lazerlar ish prinsipining asosini tashkil etadi.

3.3.2. Lazer diodining ish prinsipi

Yarimo'tkazgichli lazer diodlarida yuqorida qayd etilgan jarayonlar ikki xil usul bilan amalga oshirilishi mumkin. Birinchi usulga ko'ra, p - n o'tish aynigan, ya'ni kiritmalar konsentratsiyasi haddan tashqari katta ($10^{19} - 10^{20} \text{ sm}^{-3}$) bo'lgan yarimo'tkazgich-lardan tayyorlanadi. 3.13-a va b rasmlarda shunday p - n o'tishning termodinamik muvozanat va to'g'ri ulangan holdagi energetik diagrammalari ko'rsatilgan.

Aynigan yarimo'tkazgichlardan tayyorlangan p - n o'tish to'g'ri ulanganda, biz avval ko'rib o'tganimizdek, elektronlarning n sohadan p sohaga va kovaklarning p sohadan n sohaga injeksiyasi yuz beradi. Natijada p - n o'tishning o'tkazuvchanlik energetik sohasi elektronlar bilan, valent energetik sohasi kovaklar bilan deyarli to'liq egallangan yuqqa δx qatlami aktiv, ya'ni teskari egallangan bo'lib qoladi.

Bunda elektron va kovaklarning p - n o'tish va unga yaqin fazoda rekombinatsiyalanishi natijasida quyidagi energiyaga ega bo'lgan birlamchi spontan nurlanishi — fotonlar hosil bo'ladi:



3.13-rasm. Aynigan yarimo'tkazgichlardan tayyorlangan p - n o'tishning termodinamik muvozanat holatdagi (a) va to'g'ri ulangan holdagi (b) energetik diagrammasi

$$\Delta W_{mes} < h\nu < (W_{Fn} - W_{Fp}), \quad (3.15)$$

bunda ΔW_{mes} — yarimo'tkazgich materiali man etilgan energetik sohasining kengligi; W_{Fn} , W_{Fp} — n va p sohalardagi Fermi sathlari.

Spontan fotonlarning qayta yutilishi majburiy nurlanish hosil qiladi. Biroq o'z-o'zidan uyg'onadigan (qo'zg'algan) holatga erishish uchun nurlanishning teskari egallangan muhit bo'ylab ko'p marotalab o'tishini, boshqacha aytganda, teskari musbat bog'lanish

yuzaga kelishini ta'minlash zarur. Buning uchun kristallning qarama-qarshi — yon tomonlarida kristallografik o'qi bo'yicha tekislangan rezonator ko'zgusi vazifasini o'taydigan ikkita o'zaro parallel tekislik hosil qilinadi.

Asosiy yo'nalish bilan mos tushmaydigan yo'nalishlarda nurlanishni yo'qotish uchun kristallning boshqa ikki tomoni g'adir-budir qilib tayyorlanadi.

Bunday tuzilma Fabri-Pero rezonatori deb ataladi. Agar kuchaytirish ko'effitsiyenti yo'qotishlarga nisbatan katta bo'lsa, yarimo'tkazgich kristalida lazer generatsiyasi sodir bo'ladi.

Injeksion lazer aktiv muhiti kuchaytirish ko'effitsiyenti K_{kuch} va teskari bog'lanish ko'effitsiyenti β_{tb} ning turli qiymatlariga mos keluvchi uch xil rejimi mavjud:

1. $K_{kuch} < 1$ bo'lgan hol yoki lyuminessensiya rejimi (spontan nurlanish-shovqin rejimi);

2. $K_{kuch} > 1$, $K_{kuch} \beta_{tb} < 1$ bo'lgan hol yoki o'ta lyuminessensiya rejimi (spontan nurlanishning regenerativ kuchayish rejimi);

3. $K_{kuch} > 1$, $K_{kuch} \beta_{tb} > 1$ bo'lgan hol yoki kogerent nurlanish rejimi (tebranishlarning o'z-o'zidan uyg'onish rejimi). Bu holda spontan nurlanishning ulushi juda kichik bo'ladi.

Yarimo'tkazgichli injeksion lazerlarda K_{kuch} ning qiymati $p-n$ o'tishga qo'yilgan kuchlanishga bog'liq. Shu sababdan unda har uchala rejim ham kuzatilishi mumkin.

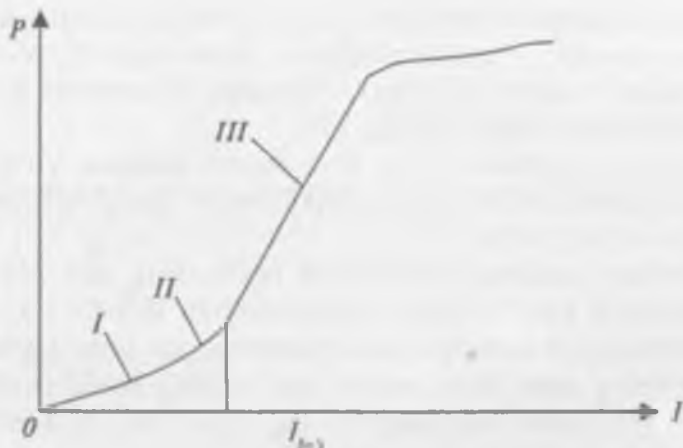
Vatt-ampere va spektral xarakteristikalar lazerlarning asosiy xarakteristikalari hisoblanadi (3.14-va 3.15-rasmlar).

Nurlanish quvvati P va lazerdan oqib o'tadigan tok orasidagi bog'lanish lazerning vatt-ampere xarakteristikasi deb ataladi.

Bu xarakteristikada lazer diodining turli xil ish rejimlariga mos kelgan uch bo'lak yaxshi aks etgan. Kichik og'ish burchagiga mos kelgan I bo'lak lyuminessensiya rejimiga, o'zgaruvchan og'ishga ega bo'lgan II bo'lak o'ta lyuminessensiya rejimi mos keladi.

Lazerdan o'tadigan tokning bo'sag'a qiymati $I_{bo's}$ dan boshlanadigan va taxminan o'zgarmas og'ish burchagiga ega bo'lgan III bo'lak esa kogerent nurlanish rejimini aks ettiradi.

Nurlanish quvvatining spektral zichligi va nurlanish to'lqin uzunligi (chastotasi) orasidagi bog'lanish lazerning spektral xarakteristikasi deb ataladi.

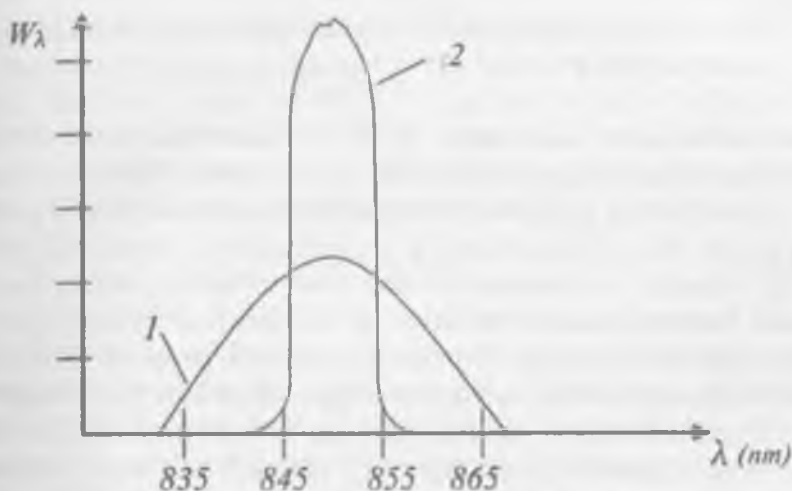


3.14-rasm. Yarimo'tkazgichli injeksion lazerning vatt-amper xarakteristikasi

3.15-rasm galliy arsenidli injeksion lazerning spektral xarakteristikasi haqida tasavvur beradi. Bu rasmda 1-egri chiziq bo'sag'a toki $I_{bo's}$ dan kichik toklardagi (2,5A), 2-egri chiziq esa, bo'sag'a toki $I_{bo's}$ dan katta toklardagi (10A) nurlanish spektrini ifodalaydi. Bo'sag'a tokidan kichik injeksiya toklarida spektral xarakteristikaning kengligi 0,1 mkm dan ortiq, bo'sag'a tokidan katta toklarda esa spektral xarakteristikaning kengligi $(1-1,5) \cdot 10^{-3}$ mkm gacha kamayadi. Shunga qaramasdan, yarimo'tkazgichli lazerlarning monoxromatikligi boshqa qattiq jisimli lazerlarnikiga nisbatan ancha kam. Bu hol yarimo'tkazgichlarda energetik sohalarga tegishli sathlarning sezilarli darajada «yoyilganligi» bilan izohlanadi.

$p-n$ o'tish tekisligida nurlanishning tarqalish darajasi $\sim 1^\circ$ ni, o'tish tekisligiga perpendikulyar yo'nalishda esa $\sim 15^\circ$ ni tashkil etadi. Bunday holat lazer aktiv sohasi o'lchamlarining juda ham kichikligi va nurlanishning shu sababdan ro'y beradigan difraksiyasi bilan bog'liq.

Yuqorida bayon etilgan tuzilishga ega bo'lgan va bir turdagi yarimo'tkazgichli birikmalardan tayyorlangan $p-n$ o'tishli (gomoo'tishli) birinchi yarimo'tkazgichli injeksion lazerlar generatsiya va ekspluatatsiya nuqtayi nazaridan unchalik maqbul bo'lmagan parametrlarga ega edi. Ularda bo'sag'a tokining zichligi juda katta bo'lib, 20 dan 100 gacha kA/sm² ni tashkil etardi.



3.15-rasm. Galliy arsenidili injeksion lazerning spektral xarakteristikasi

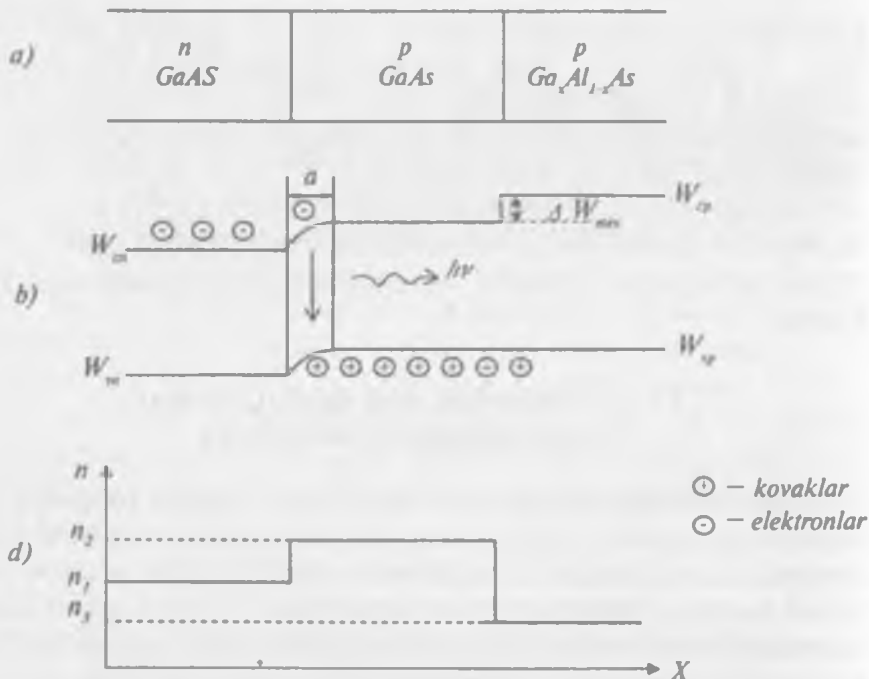
Ularning f.i.k. va xizmat muddati kichik edi. Bunday holat katta optik yo'qotishlar va lazer generatsiyasi jarayoni kvant samaradorligining pastligi bilan bog'liq edi. Zero, aktiv sohada yuzaga keladigan nurlanish qo'shni aktiv bo'lmagan sohalarga tarqalib va yutilib, katta optik yo'qotishlarga sabab bo'lardi. Bundan tashqari, aktiv sohaga kiradigan elektronlarning anchagina qismi katta tezlik hisobiga bu sohani kovaklar bilan rekombinatsiyalashga ulgurmasdan o'tishi generatsiya jarayoni samaradorligining pasayishiga olib kelardi.

3.3.3. Geteroo'tishli lazer diodlari, ularning xarakteristiklari va parametrlari

Lazer generatsiyasi chog'ida tok bo'yicha va optik yo'qotishlarni kamaytirish uchun n turdagi keng energetik sohali va p turdagi tor energetik sohali yarimo'tkazgichlardan tarkib topgan geteroo'tishlardan foydalaniladi. Bunda hatto aynimagan yarimo'tkazgichlardan tayyorlangan o'tishlarda ham, tor energetik sohali yarimo'tkazgich man etilgan energetik sohasining kengligiga qaraganda kattaroq to'g'ri yo'nalishdagi kuchlanishlarda energetik sathlarning teskari egallanganligi yuz beradi.

Bir tomonlama geterotuzilishli lazerlarda aktiv sohaga bevosita yondosh bo'lgan p turdagi GaAs qatlamiga unga qaraganda kengroq energetik sohali p turdagi GaAlAs qatlami o'stiriladi. Bunday tuzilmada aktiv soha orqali o'tib, kovaklar bilan rekombinatsiya qilishga ulgurmagan elektronlar ΔW_{mes} balandlikka ega bo'lgan potensial to'siq mavjudligi tufayli keng energetik sohali p turdagi GaAlAs yarimo'tkazgichining o'tkazuvchanlik energetik sohasiga o'ta olmaydi. Elektronlar bu potensial to'siqdan qaytib, qaytadan aktiv sohaga tushadi va katta ehtimollik hamda kovaklar bilan rekombinatsiya qiladi. Bu hol generatsiya jarayoni kvant samadorligining muhim tarzda ortishiga olib keladi (3.16-rasm).

Bundan tashqari, geterotuzilmada to'lqin uzatish bilan bog'liq hodisa yuz beradi. Darhaqiqat, uch qatlamli tuzilmada n_2 sindirish ko'rsatkichiga ega bo'lgan aktiv soha sindirish ko'rsatkichlari n_1 va n_3 bo'lgan aktiv bo'lmagan sohalar orasiga joylashgan.



3.16-rasm. Bir tomonlama geteroo'tishli lazer: tuzilishi (a); energetik diagrammasi (b); geteroo'tuzilma bo'ylab sindirish ko'rsatkichining taqsimoti (d)

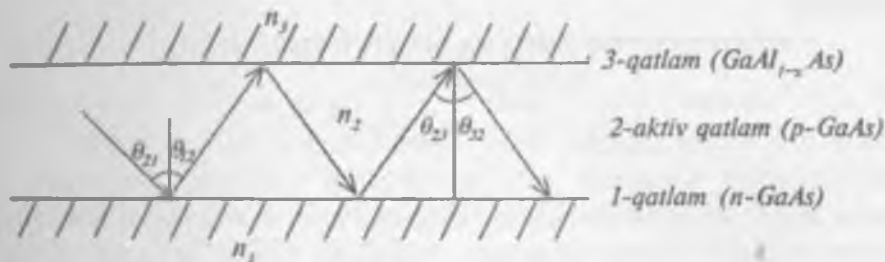
Agar sindirish ko'rsatkichlari

$$n_2 > n_1 \geq n_3 \quad (3.16)$$

shartni qanoatlantirsa, yorug'lik nurining 1-va 2-qatlamlar chegarasiga tushish burchagi θ_{12} ning qiymati quyidagi tenglama bilan aniqlanadigan kritik qiymatdan katta bo'ladi (3.17-rasm):

$$\theta_{kr} = \arcsin(n_2/n_1). \quad (3.17)$$

Shunga o'xshash holat 2- va 3-qatlamlar chegarasida ham kuzatiladi. Shunday qilib, agar aktiv qatlamning sindirish ko'rsatkichi uni yon tomonlardan o'rab turgan qatlamlarning sindirish ko'rsatkichlaridan katta bo'lsa, ya'ni (3.12) tengsizlik bajarilsa, elektromagnit nurlanish qatlamlar chegarasi tekisligiga parallel ravishda tarqaladi.



3.17-rasm. Geteroo'tishli tuzilmalarda to'lqin uzatish

Natijada, to'lqin uzatish hodisasi nurlanishning aktiv sohadan aktiv bo'lmagan qo'shni sohalarga o'tishiga to'sqinlik qiladi, ya'ni optik yo'qotishlarni kamaytirishga ko'maklashadi. Sindirish ko'rsatkichining o'tishdagi o'zgarishi 10 foizgacha bo'lganida, nurlanishning cheklanishi yorqin namoyon bo'ladi.

Bunga faqat geteroo'tishlar yordamida erishish mumkin. Gomotuzilishli lazerlarda aktiv sohaning sindirish ko'rsatkichi qo'shni sohalarning sindirish ko'rsatkichlaridan atigi 0,1–1 foizga farq qilishi mumkin. Shu sababdan bir tomonlama geteroo'tishli lazerlarda nurlanishning keskin cheklanishiga faqat geteroo'tish chegarasidagina (2- va 3-qatlamlar orasidagina) erishiladi.

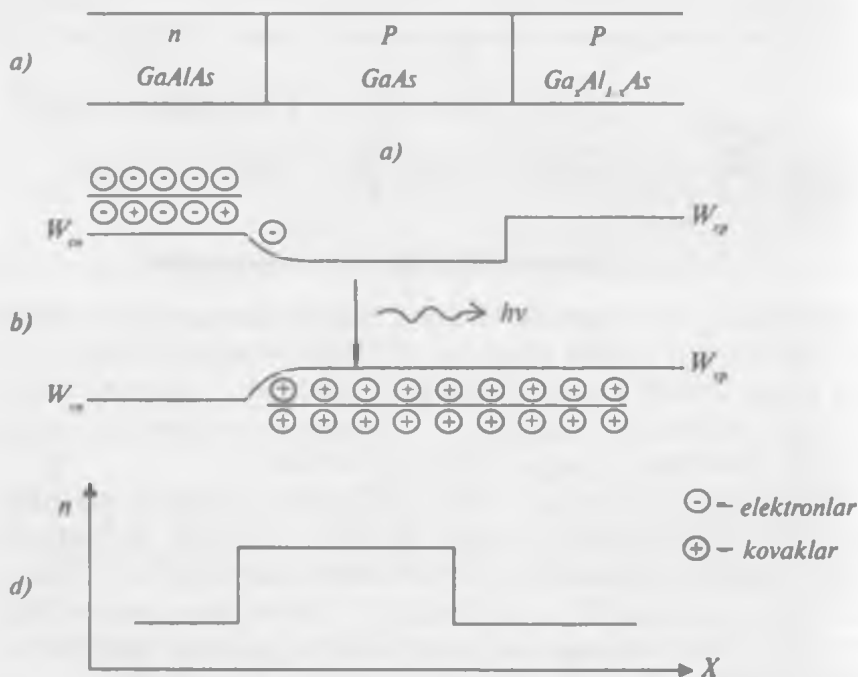
Yuqorida zikr etilgan ikkala omilning birgalikdagi ta'siri damlash bo'sag'a toki qiymatning 20...100 kA/sm² dan 7...40kA/sm² gacha kamayishiga va bir vaqtning o'zida energetik diagramma og'ish

burchagining tangensi bilan aniqlanuvchi differensial kvant samaradorlikning 15–20 foizdan 35–50 foizgacha ortishiga olib keladi. Bir tomonlama geteroo'tishli tuzilmalar impulsli injeksion lazerlarda keng qo'llaniladi. LPI va ILPI turidagi lazer diodlarida chastotalar ketma-ketligining oralig'i 10 kHz ga teng bo'lganida nurlanishning impuls quvvati 1..25 W ni tashkil etadi.

Ikki tomonlama geteroo'tishli lazerlar

Ikki tomonlama geteroo'tishli lazerlarning yaratilishi injeksion lazerlar rivojida yangi qadam bo'ldi.

3.18-rasmda ikki geteroo'tishli tuzilma, uning to'g'ri yo'nalishda ulangan sharoitdagi energetik diagrammasi, shuningdek, tuzilma bo'ylab sindirish ko'rsatkichlari qiymatining o'zgarishi aks ettirilgan.



3.18-rasm. Ikki tomonlama geteroo'tishli injeksion lazer: tuzilishi (a), energetik diagrammasi (b), tuzilma bo'ylab sindirish ko'rsatkichining o'zgarishi (d)

Ikki tomonlama injeksion lazerlarda p turdagi GaAs dan iborat aktiv qatlam ikki tomonidan keng energetik sohali yarimo'tkazgich qatlamlari orasida joylashtiriladi. Bu hol mazkur tuzilma to'liqin xususiyatlarining kuchayishi va optik yo'qotishlarning kamayishiga olib keladi.

Ikki tomonlama injeksion lazerlarda bo'sag'a tokining muhim tarzda kamayishiga, shuningdek, quyidagi holat ham sabab bo'ladi: elektronlar keng enegetik sohali n turdagi GaAlAs emitter qatlamidan aktiv qatlamga o'z potensial energiyasini yo'qotgan holda yetib kelib, go'yoki «tog'cha» dan yiqilganday bo'ladi.

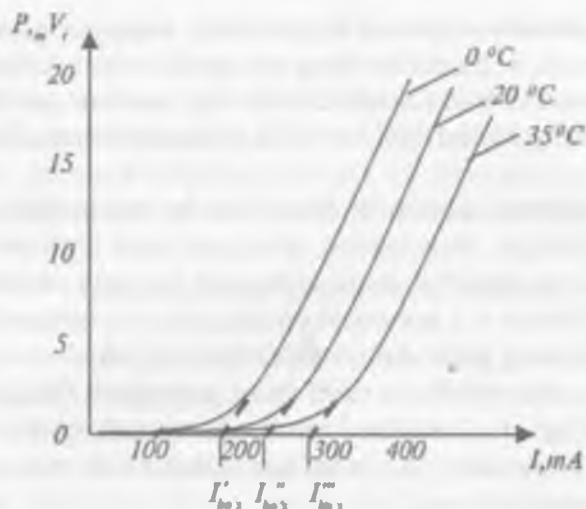
Bu hodisa superinjeksiya nomi bilan yuritiladi. Natijada tokning bo'sag'a zichligi $1...3 \text{ kA/sm}^2$ gacha kamayadi va bu hol yetarli darajada katta ish resursiga ega bo'lgan uzluksiz ish rejimini ro'yobga chiqarish imkonini beradi.

3.3.4. Lazer diodining nurlanish quvvatiga tashqi omillarning ta'siri

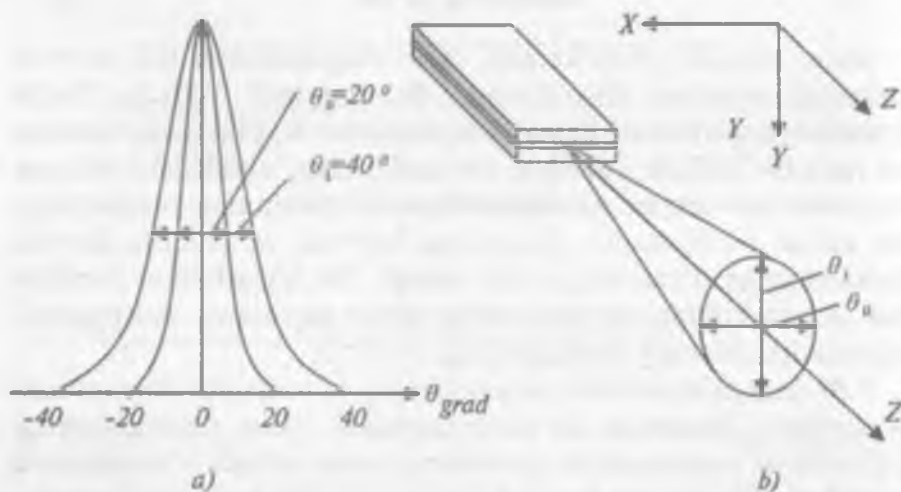
Shuni alohida aytish kerakli, lazer chegaralangan pik quvvatli nurlanish manbayi hisoblanadi. Bu damlash tokining katta qiymatlarida quvvatning kamayib borishi bilan bog'liq. Lazer diodiga xos yana bir muhim xususiyat shundaki, atrof-muhit haroratining o'zgarishi vatt-ampere xarakteristikasi ko'rinishining o'zgarishiga olib keladi (3.19-rasm). Bu bo'sag'aviy tok va chiqish quvvati qiymatlarining o'zgarishiga olib keladi. Bu kamchilikni bartaraf etish uchun kompensatsiyalashning elektr sxemalari, shuningdek, mikrosovitchlardan foydalaniladi.

3.20-rasmda lazer diodi nurlanishining yo'nalganlik diagrammasi ko'rsatilgan. Rasmdan ko'rinish turibdiki, lazer nurlanishining diagrammasi nosimmetrik quvvatning yarim sathida o'lchanganda uning kengligi o'tishga parallel yuzada 20° dan kichik va perpendikulyar yuzada 40° dan katta (3.20-a rasm). 3.18-b rasmda o'zaro perpendikulyar yo'nalishlarda nurlanish quvvatining burchakka bog'liqligi ko'rsatilgan.

Yo'nalganlik diagrammasi ellips konus ko'rinishiga ega. Generatsiyalanadigan nurlanishning yetarli katta yoyilganligi, uni kichik sonli aperaturali optik tolaga samarali kiritishga to'sqinlik



3.19-rasm. Lazer diodi vatt-ampere xarakteristikasining haroratga bog'liq ravishda o'zgarishi



3.20-rasm. Lazer diodi nurlanishining yo'nalganlik diagrammasi:
a — parallel va perpendikulyar yuzalardagi nurlanish kengligi;
b — o'zaro perpendikulyar yo'nalishlarda nurlanish quvvatining burchakka bog'liqligi

qiladi. Buning uchun maxsus moslashtiruvchi qurilmalarni qo'llash talab etiladi.

Magistral tolali optik aloqa liniyalarida, asosan, signallar 1,3 va 1,55 mkm to'liqin uzunliklarida uzatiladi. 1,55 mkm to'liqin uzunligida so'nish qiymatlari kichik bo'lganligi uchun retranslatsiyasiz ($L=100$ km) uzun uchastkalarda ana shu to'liqin uzunlikdagi optik uzatish manbalaridan foydalanish samaralidir. Magistral aloqa liniyalari kabellari bir modali tolalardan iborat bo'lgani uchun ham lazer diodidan foydalanish kerak. Zero, lazer diodining yo'nalganlik diagrammasi yorug'lik diodlarnikiga qaraganda tor va bu nurlanishning tolaga kiritishni osonlashtiradi.

3.3-jadvalda Rossiyaning «Nolatex» kompaniyasi tomonidan ishlab chiqarilayotgan lazer diodlarining asosiy parametrlari berilgan. 3.4-jadvalda esa 1-shaffoflik darchasida qo'llaniladigan lazer diodlarining asosiy parametrlari keltirilgan.

3.3-jadval

Lazer diodlarining parametrlari

LD turlari	P_o , mW	I_a , mA	I_{max} , mA	To'liqin uzunligi, nm
LD-1064-10	10	20	50	1064
LD-1064-20	20	20	70	1064
LD-1064-30	30	20	100	1064
LD-1064-40	40	20	130	1064
LD-1064-50	50	20	150	1064
LD-1064-100 impulsli rejimda	100	30	500	1064
LD-1300-5	5	10	35	1310
LD-1300-10	10	10	40	1310
LD-1300-20	20	10	60	1310
LD-1300-30	30	10	90	1310
LD-1300-30	30	10	90	1310
LD-1300-40	40	10	150	1310
LD-1300-50	50	20	200	1310
LD-1300-100, impulsli rejimda	100	30	700	1310

LD-1550-5	5	15	50	1550
LD-1550-10	10	15	70	1550
LD-1550-20	20	15	100	1550
LD-1550-30	30	30	150	1550
LD-1550-100, impulsli rejimda	100	30	700	1550

3.3.5. Lazer diodining turlari

Lazer diodlari, yuqorida qayd qilganidek, tolali optik aloqa timzimlarining uzatuvchi optoelektron modullarida yorug'lik manbai vazifasini o'taydi. Lazer diodlarining quyidagi to'rt xili ayniqsa keng tarqalgan:

- ko'p modali yoki Fabri-Pero rezonatorli lazerlar;
- bir modali taqsimlangan teskari aloqali (DFB) lazerlar;
- bir modali taqsimlangan Bregg aks etishli lazerlar;
- bir modali tashqi rezonatorli lazerlar.

Ko'p modali yoki Fabri-Pero rezonatorli lazerlar

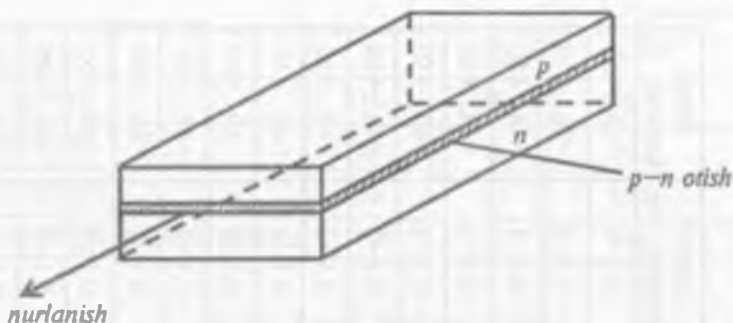
GaAs yoki InP yarimo'tkazgich turlaridan biri asosida tayyorlangan, kristallning ikki qarama-qarshi ko'ndalang kesimiga perpendikulyar bo'lgan $p-n$ o'tishli parallelepiped ko'rinishidagi oddiy lazer diodining tuzilishi 3.21-rasmda keltirilgan.

Aks ettiruvchi o'zaro parallel ko'ndalang yuzalar Fabri-Pero rezonatorlarini tashkil etadi. Zaryad tashuvchilar rekombinatsiyasi o'tish tekisligi yaqinida amalga oshadi va Fabri-Pero rezonatorlari tufayli musbat teskari aloqa hosil qilinadi. Nurlanishning ko'ndalang yuzalardan aks etishi havo va yarimo'tkazgich sindirish ko'rsatkichlarining farqlanishi bilan tushuntiriladi. Nomaqbul yo'nalishlarda generatsiya yuzaga kelmasligi uchun nurlantirmaydigan yuzalarning g'adir-budurligi ta'minlanib, ularning dag'allashuviga erishiladi [4].

Fabri-Pero rezonatorli lazer diodlari ko'p modali lazerlar deb ham ataladi. Chunki ular bir necha modalarni nurlantiradi (3.22-a rasm).

**Birinchi shaffoflik darchasi lazer diodlarining
asosiy parametrlari**

Model	To'q'in uzunligi, nm	Chiqishdagi quvvati, mW	Ishebl tok, mA	Ishebi kuchlanish, u	Chegaraviy tok, mA	Spektr kengligi, nm	Ishebi harorat, °C
ILPN-780A	770-800	30-35	60-80	1,8-2,4	20-40	0,1-2	-40...+50
ILPN-780B	770-800	40-45	70-100	1,8-2,4	20-40	0,1-2	-40...+50
ILPN-780V	770-800	30-35	90-140	1,8-2,4	20-40	0,1-2	-40...+50
ILPN-820A	800-870	30-35	60-80	1,8-2,4	20-40	0,1-2	-40...+50
ILPN-780A	770-800	30-35	60-80	1,8-2,4	20-40	0,1-2	-40...+50
ILPN-780B	770-800	40-45	70-100	1,8-2,4	20-40	0,1-2	-40...+50
ILPN-780V	770-800	30-35	90-140	1,8-2,4	20-40	0,1-2	-40...+50
ILPN-820A	800-870	30-35	60-80	1,8-2,4	20-40	0,1-2	-40...+50
ILPN-12-1000	808-812	1000-1100	1450-1650	1,9-2,2	250-350	0,1-3	-40...+50
ILPN-900A	930-970	40-45	70-90	1,8-2,4	20-40	0,1-2	-40...+50
ILPN-900B	930-970	60-65	100-120	1,8-2,4	20-40	0,1-2	-40...+50
ILPN-900V	930-970	80-85	110-150	1,8-2,4	20-40	0,1-2	-40...+50
ILPN-900-100	930-970	100-105	160-200	1,8-2,4	20-40	0,1-2	-40...+50
ILPN-980A	975-985	50-55	80-100	1,8-2,4	20-40	0,1-2	-40...+50

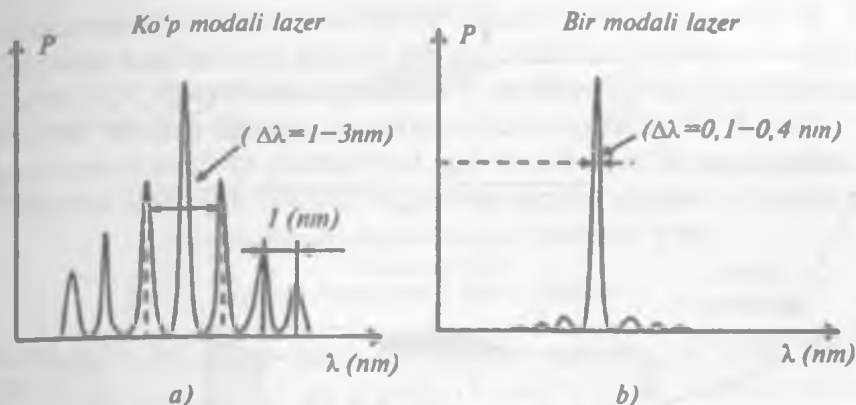


3.21-rasm. Fabri-Pero rezonatorli lazer diodining tuzilishi

3.22-a rasmdagi katta amplitudali moda — bu to‘lqin uzunligining asosiy modasi, kichik amplitudali modalar esa yon modalar hisoblanadi. Yon modalar orasi taxminan 1 nm ga teng. Lazer nurlanishining modulyatsiyasi jarayonida nafaqat asosiy moda, shuningdek, yon modalar ham modulyatsiyalanadi. Bunday lazerlarda optik nurlanishning to‘liq spektr yarimkengligi 4–5 nm ga teng [6].

Nurlanish spektrining kengligi dispersiyaning oshishiga olib keladi. Fabri-Pero rezonatorli, ko‘p modali lazerlar yuqori texnik tavsiflarga ega emas. Biroq tuzilishi sodda bo‘lganligi uchun narx-samaradorlik nuqtayi nazaridan, bunday lazerlar juda yuqori tezliklar talab etilmaydigan optik aloqa tizimlarida qo‘llaniladi. Aytib o‘tish joizki, bir modali nurlanish rejimida bo‘lib, $\Delta\lambda$ kichik bo‘lgan taqdirda ham uzatish tezligining ortishi bilan Fabri-Pero rezonatorli lazer diodining modalarida quvvatning qaytadan taqsimlanishi kuzatiladi.

Bunda har bir alohida modaning quvvati sezilarli darajada o‘zgarishi mumkin. Lazer signali optik tola bo‘ylab uzatilganida to‘lqin uzunligiga bog‘liq bo‘lgan guruhli kechikish (xromatik dispersiya)ni hisobga olsak, modalar bo‘ylab quvvatning qayta taqsimlanishi chiqishda shovqin sathining ortishiga va $\Delta\lambda$ spektrining dinamik kengayishiga (1 – 2 GHz li chastota modulyatsiyasida 10 nm gacha) [2] olib keladi. Yuqori tezlikli optik tizimlarida bu sektsiya uzunligini chegaralovchi asosiy omil bo‘lishi mumkin [6].



3.22-rasm. Lazer diodlarning nurlanish spektrlari:
 a – ko'p modali lazer diodining nurlanish spektri;
 b – bir modali lazer diodining nurlanish spektri

Optik rezonatorlarni tashkil qilish usuli bilan farqlanuvchi, ma'lum darajada oddiy Fabri-Pero rezonatorlarining takomillashuvi hisoblangan boshqa mukammal lazer diodlarida bu kamchiliklar mavjud emas.

Bir modali lazerlar

Yuqorida aytib o'tilganidek, ko'p modali lazerlarda nurlanish spektrining kengligi dispersiya qiymatining ortishiga olib keladi. Bu kamchilikni bartaraf etish uchun bir modali lazerlardan foydalanish talab etiladi. Bir modali lazerlarda modaning nurlanish spektri tor bo'lib, $\Delta\lambda = 0,1 - 0,4$ nm ni tashkil etadi (3.22-b rasm). Bundan tashqari, agar bir modali lazer to'g'ri sozlangan bo'lsa, unda birinchi yon modaning balandligi asosiy modanikiga qaraganda juda bo'lmaganda 30 dB ga past bo'lishi mumkin [7].

Taqsimlangan teskari aloqali yarimo'tkazgichli lazer diodlari

Taqsimlangan teskari aloqali yarimo'tkazgichli lazer diodi (TTA – LD, DFB) Fabri-Pero yassi rezonatorining takomillashgan turi bo'lib, uning ikki qatlami (odatda, n-InP va n-InGaAsP qatlamlari) o'rtasida davriy difraksiya panjarasi joylashtiriladi (3.23-rasm).

Bu bilan sindirish ko'rsatkichining fazo bo'yicha davriy ravishda o'zgarib turishiga erishiladi, bu esa to'lqin tarqaladigan aktiv soha qalinligining davriy ravishda o'zgarishiga olib keladi.

Teskari aloqa rezonatorlar yuzasiga tegishli uzunlik bo'yicha taqsimlangan bo'ladi. Bu turdagi lazerlarning tuzilishi teskari aloqa mexanizmi evaziga to'lqin uzunligini tanlash imkonini yaratadi.



3.23-rasm. Taqsimlangan teskari aloqali yarimo'tkazgichli lazer diodi

Bunda difraksiya panjarasining qadami bilan aniqlanadigan, qayd etilgan to'lqin uzunliklaridagina teskari aloqa hosil bo'ladi, ya'ni faqatgina panjara davridan qisqa bo'lgan to'lqin uzunliklar qoladi. Bu bilan rezonatorlarda qo'zg'aladigan modalar sonining kamayishiga erishiladi va faqat yuqori quvvatli, qisqa spektrli asosiy modaga tegishli signalnigina uzatishga imkoniyat yaratiladi.

Difraksion panjara lazer diodi ichida joylashgan bu turdagi lazerlarning ishlab chiqarish texnologiyasi murakkabdir.

Taqsimlangan Bregg ko'zguli lazerlar

Taqsimlangan Bregg ko'zguli lazerlar (TBK-LD, DBR lazerlar)da difraksion panjara aktiv sohadan tashqarida joylash-tiriladi (3.24-rasm).

Bu turdagi lazer diodlarida yagona asosiy modaning generatsiyasi taqsimlangan teskari aloqali yarimo'tkazgichli lazerlarga nisbatan odatiy holdir. Bunday tuzilishli lazerlarda hattoki yuqori tezlikli modulyatsiya jarayonida ham modalarning birdan o'zgarishi kuzatilmaydi, aksincha faqatgina bitta asosiy moda hosil bo'ladi. Bu esa, taqsimlangan Bregg ko'zguli lazerlarning bir modali optik tolalarda va kanallari spektr bo'yicha zichlashtirilgan uzatish tizimlarda nurlanish manbayi sifatida ishlatilishiga qulaylik yaratadi.



3.24-rasm. Taqsimlangan Bregg ko'zguli lazer diodi

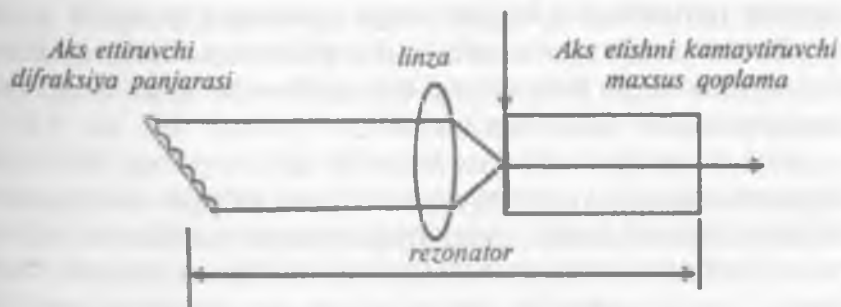
Tashqi rezonatorli lazer diodlari

Tashqi rezonatorli lazer diodlarida ularning bir yoki ikkala ko'ndalang yon tomoni aks ettirishni kamaytiruvchi, maxsus qatlam bilan qoplanadi va mos ravishda yarimo'tkazgichli aktiv sohaning atrofida bitta yoki ikkita ko'zgu qo'yiladi. 3.25-rasmda bitta tashqi rezonatorli lazer diodining tuzilishi ko'rsatilgan.

Aks etishni kamaytiruvchi qoplama aks etish koeffitsiyentini taxminan to'rt tartibga kamaytiradi, aktiv qatlamning boshqa ko'ndalang yoni esa 30 foizgacha yorug'lik oqimini aks ettiradi. Aks ettiruvchi difraksiya panjarasi ko'zgu va difraksiya panjarasidan tarkib topadi.

Ko'zgu difraksiya panjarasi vazifasini to'ldiradi. Ko'zgu va aktiv soha o'rtasida teskari aloqani yaxshilash uchun linza o'rnatiladi.

Aks ettiruvchi difraksiya panjarasigacha bo'lgan masofani oshirib yoki kamaytirib, shuningdek, panjarani burish hisobiga panjara qadamini o'zgartirish orqali nurlanish to'lqin uzunligini bir tekisda o'zgartirish mumkin. Shu sababdan bunday lazerlar *sozlanuvchan lazerlar* deyiladi. Bu turdagi lazer diodlari yordamida to'lqin



3.25-rasm. Bitta tashqi rezonatorli lazer diodi

uzunligini 30 nm oraliqqacha o'zgartirish mumkin. Tashqi rezona-torli lazer diodlari spektr bo'yicha zichlashtirish apparaturalari va tolali optik aloqa uchun mo'ljallangan o'lchov qurilmalarini yaratishda juda kerakli hisoblanadi.

3.4. Tolali optik aloqa tizimlarida qo'llaniladigan yorug'lik manbalarining qiyosiy tafsivi

Yuqoridagi bayon etilganlardan ma'lum bo'ldiki, yorug'lik manbalari tolali optik uzatish tizimlarining muhim va ajralmas funksional qurilmasi bo'lgan uzatuvchi optoelektron modulning asosiy elementi vazifasini o'taydi. Ular yordamida analog yoki raqamli ko'rinishdagi elektr signallari yorug'lik signallariga o'zgar-tirilib, ular optik tolaga uzatiladi.

Tolali optik uzatish tizimlarida qo'llaniladigan yorug'lik man-balari 3.1-bandda ta'riflangan talablarga javob berishi zarur.

Tolali optik uzatish tizimlarida yorug'lik manbalarining bu talablarga javob beradigan ikki turi — yorug'lik diodlari va lazer diodlaridan foydalaniladi.

Ushbu yorug'lik manbalari man etilgan energetik satihlarning kengligi bilan farq qiluvchi turli xil yarimo'tkazgichlardan tayyorlanadi va shu sababdan turli to'lqin uzunligidagi nurlanish tarqatadi.

Tolali optik uzatish tizimlarida qo'llaniladigan yorug'lik manbalari o'zlarining tuzilish xususiyatlari va ish mexanizmlariga ko'ra ikki guruh — *p-n* o'tishli yarimo'tkazgichli tuzilmalarda noasosiy zaryad tashuvchilarning injeksiyasi vaqtida sodir bo'ladigan spontan nurlanishdan foydalanishga asoslangan yorug'lik diodlari va shunday tuzilmalarda energetik sathlarning teskari egallangan sharoitida sodir bo'ladigan majburiy nurlanishlardan foydalanishga asoslangan lazer diodlariga ajraladi.

Shu sababdan, ulardan birinchi xili — yorug'lik diodlari nomonoxromatik va nokogerent (turli xil to'lqin uzunligiga ega bo'lgan, har xil fazali) nurlanish manbayi, ikkinchi xili esa, monoxromatik va kogerent (bir xil to'lqin uzunlikli, bir xil fazali, bir xil tarqalish yo'nalishiga ega bo'lgan) nurlanish manbayi bo'lib xizmat qiladi.

Yorug'lik manbalarining har ikkala xili ham bir qator bir xil nomli xarakteristikalar va parametrlar bilan tavsiflanadi: volt-amper xarakteristikasi, vatt-amper xarakteristikasi, spektral xarakteristika, yo'nalganlik diagrammasi, nurlanish quvatining odatiy va eng katta qiymatlari, nurlanish to'lqin uzunligi diapazoni, nurlanish quvva-ting eng katta qiymatiga mos kelgan to'lqin uzunligi, uzilish va ulanish vaqtlari, ishchi toki va kuchlanishlarining qiymatlari, iste'mol quvvati, xizmat muddati shular jumlasidandir.

Biroq, bu xarakteristikalar o'z ko'rinishlari bilan, parametrlar esa o'z qiymatlari bilan muhim tarzda farq qiladi.

Chunonchi, yorug'lik diodlari va lazer diodlarini elektr zanjir elementi sifatida tavsiflovchi volt-amper xarakteristikalari turli xil ko'rinishga ega. Yorug'lik diodlarining volt-amper xarakteristikasi exponensial ko'rinishga, lazer diodlarining bu turdagi xarakteristikasi esa boshqa musbat teskari bog'lanishli elektron asboblarga xos bo'lgan S ko'rinishga ega, bu ikki xil yorug'lik manbalarining ishchi kuchlanish va toklarining qiymatlari ham turli xil oraliqda yotadi. Yorug'lik diodlari uchun bu qiymatlar mos ravishda 1–2 V, 50–100 mA oralig'ida, lazer diodlari uchun 2+5 V va bir necha o'ndan bir necha yuz mA gacha oraliqda yotadi.

Yorug'lik diodining vatt-amper xarakteristikasi tok kuchining bir necha o'n mA o'zgarishlari oralig'ida to'g'ri chiziqli ko'rinishga, lazer diodining volt-amper xarakteristikasi esa tok kuchining nisbatan katta qiymatlari oralig'ida (bir necha o'ndan — bir necha yuz mA gacha oraliqda) nochiziqli ko'rinishga va bo'sag'a xususiyatiga ega.

Yorug'lik diodlari va lazer diodlarining spektral xarakteristikalari cho'qqi xususiyatli umumiy ko'rinishga ega bo'lsa-da, ularning spektral kengligi keskin farq qiladi. Chunonchi, yorug'lik diodlari uchun bu kenglik 30 + 60 nm ni tashkil etsa, lazer diodlarida u 0,1 + 0,4 nm (bir modali lazerlar uchun) gacha oraliqda yotadi. Aynan shu xususiyatlariga ko'ra, yorug'lik diodidan kelayotgan signallar optik tolada ko'proq, lazer diodlaridan kelayotgan yorug'lik signallari esa kamroq dispersiyaga uchraydi. Shu sababdan yorug'lik diodlaridan qisqa uzunlikli optik uzatish liniyalarida (15 km gacha), lazer diodlaridan esa katta uzunlikli uzatish liniyalarida foydalaniladi.

Yorug'lik manbalari nurlanish quvvatining fazoviy taqsimotini tafsivlovchi yo'nalganlik diagrammasi bilan ham farq qiladi. Yorug'lik diodlari uchun bu taqsimot bir necha o'n va hatto yuzdan ortiq teles (fazoviy) burchagi ostida yuz bersa, lazer diodlari uchun gradusning bo'laklarini tashkil etadi.

Yorug'lik diodlari va lazer diodlarining tezkorligi $p-n$ o'tish orqali injeksiyalanayotgan zaryad tashuvchilarning baza sohasida to'planish va ekstraksiyalanayotgan zaryad tashuvchilarning so'rilish vaqtlari bilan yoki $p-n$ o'tish sig'imining zaryadlanish va razryadlanish vaqtlari bilan aniqlanadi.

Yorug'lik diodida bu vaqt $10^{-7} - 10^{-8}$ s ni, qalinligi juda kichik bo'lgan (~ 20 mkm) tor energetik sohali yarimo'tkazgichlardan tayyorlangan ikki tomonlama tuzilishli lazer diodlarida esa $10^{-9} - 10^{-10}$ s ni tashkil etadi.

Shu sababdan yorug'lik diodlaridan nisbatan kichik tezlikli (Mbit/s li), lazer diodlaridan esa katta tezlikli (Gbit/s li) tolali optik uzatish tizimlarida foydalaniladi.

Xizmat muddati yorug'lik manbalarining muhim ekspluatatsion parametrlaridan biri hisoblanadi. Yorug'lik manbalarining degradatsiyasi ularning asta-sekin yoki katastrofik eskirishiga olib keladi.

Bu hol yorug'lik diodlari xizmat muddatini $10^6 - 10^7$ soat oraliq, superluminescent diodlar uchun $10^4 - 10^6$ oraliq bilan, lazer diodlarining xizmat muddatini uzog'i bilan 10^5 soat bilan cheklaydi.

3.5-jadvalda tolali optik aloqa tizimlarida qo'llaniladigan yorug'lik manbalari — yorug'lik diodlari va lazer diodlarining qiyosiy tafsivi keltirilgan.

3.5. Tolali optik aloqa tizimlarining optoelektron uzatuvchi moduli va uning tarkibiy qurilmalari

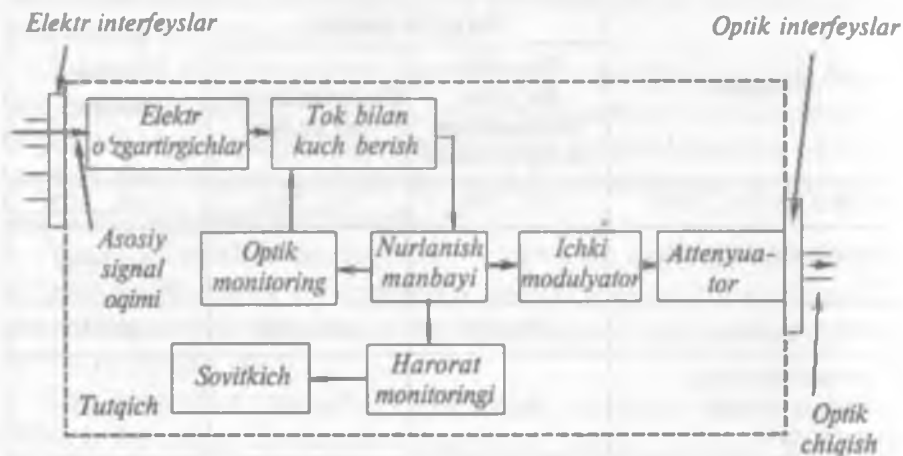
Optik signalni uzatishni tashkil etish uchun faqatgina nurlanish manbayining o'zi yetarli emas. Shu sababdan optoelektron uzatuvchi modul quyidagi bir qator boshqa elementlar va qurilmalardan ham tarkib topadi (3.26-rasm):

- elektr o'zgartirgichlar;
- nurlanish manbayi;
- nurlanish manbayini tok kuchi bilan ta'minlash zanjiri;

Yarimo'tkazgichli yorug'lik manbalarining texnik
parametrlari

Parametr	Yorug'lik diodlari		Lazer diodlari
	Yon sirti bo'yicha nurlanadigan yorug'lik diodi	Superluminestent diodlar	
Iste'mol quvvati, mW	75...750	75...750	150...600
Bo'sag'a damlash toki, mA	—	—	50...250
Ishchi toki, mA	50...300	50...300	100...300
Uzluksiz rejimdagi chiqish nurlanish quvvati, mW	1...10	1...10	1...50
Ko'p moddali yorug'lik uzatkichga kiritiladigan quvvat, mW	0,05...0,5	0,1...1	0,5...15
Nurlanish spektrining kengligi, nm	30...50	3...5	0,1...0,4
Nurlanishning markaziy to'lqin uzunligi, mkm	0,8	0,9	0,01...0,3
Markaziy to'lqin uzunligining harorat bo'yicha nobarqarorligi, nm/K	0,3	0,3	0,01...0,3
—3dB sathi bo'yicha modulatsiya chastotalari oralig'ining kengligi, MHz	100	200	500...5000
Vatt-amper xarakteristikasining nochiziqligi, %	0,3...3	10	0,3...30
Xizmat muddati,	$10^4...10^7$	$10^4...10^6$	$10^3...10^5$
Murakkablik darajasi	past-o'rtacha	o'rta	yuqori
Tannarxi	past-o'rtacha	o'rta	o'rtacha-yuqori

- nurlanish quvvati monitoringini ta'minlovchi qurilma;
- harorat monitoringini bajaruvchi tizim;
- elektrik va optik interfeyslar shular jumlasidandir.



3.26-rasm. Optoelektron uzatuvchi modulning tuzilish sxemasi va tarkibiy elementlari

Nazorat savollari

1. Optik aloqa tizimining uzatuvchi modulida qo'llaniladigan yorug'lik manbalariga qanday talablar qo'yiladi?
2. Optik aloqa tizimida yorug'lik manbalarining qaysi turlaridan foydalaniladi? Ular qanday materiallardan tayyorlanadi?
3. Yorug'lik diodining tuzilishi va ish prinsipini tavsiflang.
4. Yorug'lik diodi qanday xarakteristikalar bilan tavsiflanadi?
5. Yorug'lik diodining volt-ampere xarakteristikasini tavsiflang. U qanday miqdoriy munosabat bilan ifodalanadi?
6. Yorug'lik diodining vatt-ampere xarakteristikasini tavsiflang. U qanday miqdoriy munosabat bilan ifodalanadi?
7. Yorug'lik diodining spektral xarakteristikasini tavsiflang. Uning kengligini aniqlash usulini tushuntiring.
8. Yorug'lik diodining yo'nalganlik diagrammasini tavsiflang. Yorug'lik nurining yo'nalganlik darajasini oshirish uchun qanday choralar ko'riladi?
9. Yorug'lik diodi nurlanish samaradorligini oshirish va nurlanish quvvatini kichik yuzada mujassamlashtirish uchun qanday usullardan foydalaniladi?
10. Yorug'lik diodining degradatsiya jarayoniga tavsif bering. Bu jarayon qaysi omillar tufayli yuz beradi va qanday miqdoriy munosabat bilan aniqlanadi?

11. Yorug'lik diodining asosiy parametrlarini sanab ko'rsating va ularni qisqacha tavsiflang.
12. Yorug'lik diodining afzalliklari va kamchiliklari nimada? Ularga qisqacha tavsif bering.
13. Lazer diodining tuzilishi va ish prinsipiga tavsif bering. Bu prinsip kvant mexanikasining qaysi fundamental qoidalariga asoslanadi?
14. Lazer diodi nurlanishining xususiyatlariga tavsif bering.
15. Ikki tomonlama geterotuzilishli lazer diodining energetik diagrammasini chizib ko'rsating, bu turdagi lazer diodining ish jarayonini tavsiflang.
16. Lazer diodining vatt-ampere va spektral xarakteristikalariga tavsif bering.
17. Tashqi muhit haroratining o'zgarishi lazer diodi nurlanish spektri va quvvatiga qanday ta'sir etadi?
18. Bir modali va ko'p modali lazer diodlarining spektral xarakteristikalarini tavsiflang. Bu xarakteristikalar yorug'lik diodining spektral xarakteristikasidan qanday farq qiladi?
19. Bir modali lazer diodlarining qanday turlari mavjud? Ularning ish xususiyatlarini tavsiflang.
20. Optik aloqa tizimi uzatuvchi modulining vazifasi va tuzilishini tavsiflang.

4-bob. OPTIK ALOQA TIZIMLARIDA QO'LLANILADIGAN FOTOQABULQILGICHLAR

4.1. Tolali optik aloqa tizimlarida qo'llaniladigan fotoqabulqilgichlarga qo'yiladigan talablar

Fotoqabulqilgich qabul qiluvchi optoelektron modulning asosiy va ajralmas elementi hisoblanadi, aynan shu element yordamida bu modul kirishidagi yorug'lik signallari elektr signallariga o'zgartirib beriladi.

Tolali optik aloqa tizimlarida qo'llaniladigan fotoqabulqilgichlarga quyidagi talablar qo'yiladi:

- fotoqabulqilgichning fotosezgir yuzasi optik tolalarning ko'ndalang kesim o'lchamlariga yaqin o'lchamlarga ega bo'lishi kerak;

- fotoqabulqilgich, yorug'lik manbayi va optik kabel bilan spektral jihatdan mos kelishi kerak. Buning uchun fotoqabulqilgich tayyorlanadigan yarimo'tkazgich man etilgan energetik sohasining kengligi yorug'lik manbayi man etilgan energetik sohasining kengligidan kichik bo'lishi va optik tolaning shaffoflik darchalaridan biriga mos kelishi kerak;

- fotoqabulqilgich yetarli darajada katta fotosezgirlikka ega bo'lishi kerak;

- axborotni talab etilgan tezliklarda qabul qilishini ta'minlash uchun fotoqabulqilgich katta tezkorlikka ($10^{-9} + 10^{-10}$ s) ega bo'lishi kerak;

- nurlanish quvvatining fotoqabulqilgichga kirishidagi yo'qotishlarni imkon qadar kamaytirish uchun fotoqabulqilgich optik zichligi bo'yicha optik tola bilan muvofiqlashgan bo'lishi, boshqacha aytganda, uning sindirish ko'rsatkichi optik tolaning sindirish ko'rsatkichiga yaqin bo'lishi kerak;

- haroratning o'zgarishlari fotoqabulqilgichning ishiga imkon qadar kam ta'sir qillishi kerak.

Hozirgi vaqtda tolali optik aloqa tizimlarida bu talablar majmuiga javob beradigan fotoqabulqilgichlar sifatida kremniy, germaniy va

boshqa tor energetik sohali yarimo'tkazgichlardan tayyorlangan fotodiod, $p-i-n$ fotodiodi, ko'chkili fotodiod va fototranzistorlardan foydalaniladi.

4.2. Yarimo'tkazgichli fotoqabulqilgichlarning turlari, xarakteristikalari va parametrlari

Fotoqabulqilgichlar ularni yorug'lik oqimining berilgan qiymatlarida elektr zanjiri elementi sifatida tavsiflovchi volt-amper xarakteristikasidan tashqari, kuchlanishning berilgan qiymatlarida ulardan oqib o'tadigan tok kuchi va ularning sirtiga tushayotgan yorug'lik oqimi orasidagi bog'lanishni ifodalovchi energetik xarakteristika, fototok va yorug'lik oqimi tarkibidagi fotonlar energiyasi yoki to'lqin uzunligi orasidagi bog'lanishni ifodalovchi spektral xarakteristika bilan tavsiflanadi. Quyidagilar fotoqabulqilgichlarning asosiy parametrlari hisoblanadi:

– fotoqabulqilgichning solishtirma integral sezgirligi. Bu parametr fotoqabulqilgichning monoxromatik yorug'lik oqimiga sezgirligini ifodalaydi va kuchlanishning IV ga teng qiymatida fotoqabulqilgichdan oqib o'tayotgan tok kuchining yorug'lik oqimiga nisbatini ko'rsatadi:

$$S_{\text{int}} = \frac{I}{\Phi U}, \quad (4.1)$$

bunda: I – fotoqabulqilgichdan yorug'lik ta'sirida oqib o'tadigan tok kuchi;

U – fotoqabulqilgich chiqqichlari orasidagi kuchlanish;

Φ – yorug'lik oqimi;

– fotoqabulqilgichning solishtirma spektral sezgirligi. Bu parametr fotoqabulqilgichning monoxromatik yorug'lik oqimiga nisbatan sezgirligini ifodalaydi. U

$$S_{\lambda} = \frac{I}{\Phi_{\lambda} U} \quad (4.2)$$

munosabat bilan aniqlanadi;

– fotoqabulqilgichning qorong'ulik qarshiligi. Bu parametr fotoqabulqilgichning kuchlanish yoki tok kuchi bo'yicha berilgan

ish rejimida yorug'lik oqimining $\Phi=0$ qiymatiga mos kelgan qarshiligini ifodalaydi, R_q .

– fotoqabulqilgichning chegaraviy chastotasi. Bu parametr fotoqabulqilgichning sezgirligi sinusoidal qonuniyat bilan o'zgaruvchi oqim ta'sirida o'zgarmas oqim ta'siridagiga nisbatan 2 marta kamayishiga mos kelgan chastotani ko'rsatadi;

– fotoqabulqilgichning temperaturaviy koeffitsiyenti. Bu parametr fotoqabulqilgich sirtiga tushayotgan yorug'lik oqimining berilgan qiymatida fototokning harorati $1^\circ K$ ga o'zgarishiga mos kelgan nisbiy o'zgarishini ifodalaydi:

$$\alpha_T = \frac{1}{\Delta T} \cdot \frac{\Delta I}{I}; \quad (4.3)$$

– kuchlanishning ishchi qiymatlari;

– ruxsat etilgan eng katta sochilish quvvati.

Kuchsiz yorug'lik oqimini payqash va qayd etish uchun mo'ljallangan fotoqabulqilgichlar uchun quyidagi parametrlar ham muhim ahamiyat kasb etadi:

– fotoqabulqilgichning solishtirma bo'sag'a oqimi. Bu parametr fotoqabulqilgichga ta'sir etuvchi yorug'lik oqimining mazkur asbobning xususiy shovqin fonida payqashi mumkin bo'lgan eng kichik qiymatini ko'rsatadi va

$$\Phi_{s.bo's} = \frac{\Phi_b}{S}, \quad (4.4)$$

bunda, F_{bl} – muayyan qonuniyat bilan o'zgaruvchi yorug'lik oqimi bo'sag'a qiymati F_b ning chastotalar oralig'ining bir birligi (Hz) ga nisbatini ifodalaydi;

– fotoqabulqilgichning solishtirma payqash qobiliyati. Bu parametr quyidagi munosabat bilan aniqlanadi:

$$D_s = \frac{1}{\Phi_{bs}}; \quad (4.5)$$

va u $W^{-1} \cdot sm \cdot (Hz)^{1/2}$ o'lchamga ega.

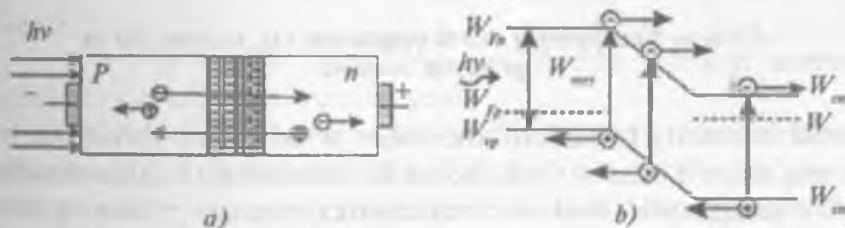
Quyida tolali optik aloqa tizimlarida qo'llaniladigan fotoqabulqilgichlarning turlari bilan tanishib chiqamiz.

4.3. Fotodiod, uning tuzilishi, ish mexanizmi, xarakteristikalari va parametrlari

Ma'lumki, teskari yo'nalishda qo'yilgan kuchlanish ta'sirida p - n o'tish kengayib, undagi elektr maydoni kuchlanganligi ortadi. Agar shunday holatdagi p - n o'tishning energiyasi yarimo'tkazgichning man etilgan energetik sohasi kengligidan katta bo'lgan fotonlar bilan yoritilsa, unda va unga yondosh qatlamda qo'shimcha elektron-kovak juftlari generatsiyalanadi.

Bu jarayonda hosil bo'lgan erkin elektronlar va kovaklar p - n o'tishning ichki elektr maydonida qarama-qarshi yo'nalishda harakat qilib, qo'shimcha tok fototok hosil qiladi. Yorug'lik ta'sirida vujudga kelgan bu tokning qiymati yarimo'tkazgichli dioddan teskari yo'nalishda oqib o'tadigan odatiy to'yinish tokidan bir necha tartibga katta bo'ladi (4.1-rasm).

Ish prinsipi teskari yo'nalishda ulangan p - n o'tishdan oqib o'tadigan tok kuchini yorug'lik ta'sirida boshqarishga asoslangan yarimo'tkazgichli diodlar fotodiodlar deb ataladi.



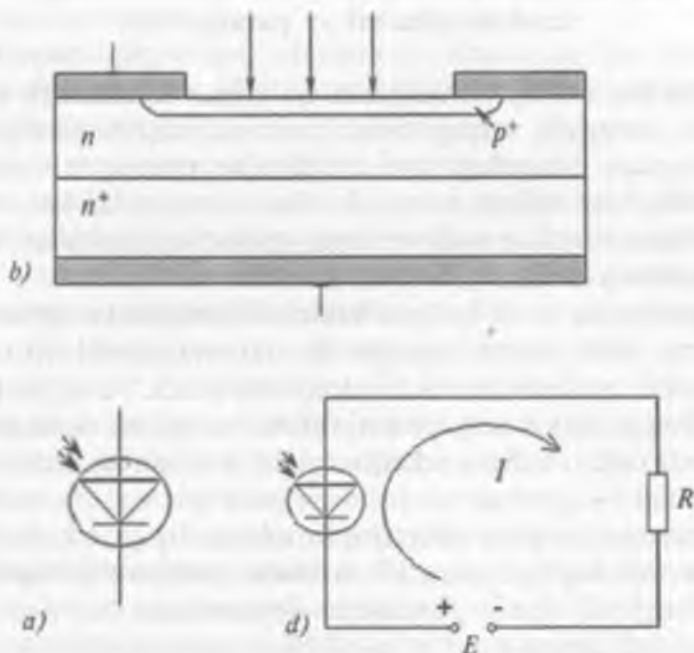
4.1-rasm. Fotodiodda tok hosil bo'lish jarayoni

4.2-rasmda fotodiodning shartli belgilanishi, tuzilishi va qo'llanish sxemasi keltirilgan ko'rinishga ega.

Germaniy yoki kremniy yarimo'tkazgichidan yassi qatlamli yoki qotishmali texnologiya bo'yicha tayyorlangan asbob yuza sirti shisha qatlam bilan qoplangan metall qobiqqa joylashtiriladi.

4.3-a rasmda fotodiodning yorug'lik oqimining turli qiymatlariga mos kelgan volt-ampere xarakteristikalari oilasi keltirilgan.

Bu xarakteristikalarning ko'rinishi bipolar tranzistorning chiqish xarakteristikalari oilasini eslatadi. Yorug'lik oqimi tushmagan ($\Phi = 0$) boshlang'ich holda fotodioddan teskari yo'nalishdagi odatiy



4.2-rasm. Fotodiodning shartli belgilanishi (a), tuzilishi (b) va qo'llanish sxemasi

kichik qiymatli to'yinish toki oqib o'tadi. Uni fotodiodning qorong'ulik toki deb ataladi. Yorug'lik oqimining ta'sirida dioddan oqib o'tadigan tok ortadi va xarakteristika yuqoriga — tokning katta qiymatlari tomon siljiydi. Yorug'lik oqimi qanchalik katta bo'lsa, fototok ham shunchalik katta bo'ladi. Yorug'lik oqimining turli qiymatlariga tegishli xarakteristikalar teskari yo'nalishda qo'yilgan kuchlanish qiymatlarining keng oralig'ida deyarli o'zgarmay qoladi. Faqat kuchlanishning birmuncha katta qiymatlaridagina fototokning biroz ortishi kuzatiladi. Kuchlanishning muayyan U_{tesk} qiymatida esa, elektr teshilishi hodisasi sababli fototokning keskin ortishi yuz beradi (xarakteristikalarning uzlukli bo'laklariga qarang).

Shunday qilib, ishchi rejimda (xarakteristikalarning uzluksiz bo'laklarida) fotodioddan ikki tashkil etuvchidan iborat to'liq tok oqib o'tadi:

$$I_t = I_q + I_p \quad (4.6)$$

bunda I_q — qorong'ilik toki;
 I_f — fototok.

To'liq tokning bu tashkil etuvchilari quyidagi miqdoriy munosabatlar bilan aniqlanali:

$$I_q = q (D_p p_n / L_p + D_n n_p / L_n) s; \quad (4.7)$$

$$I_f = q (1 - \chi) \alpha \beta \Phi = q (1 - \chi) \alpha \beta P_{\text{nurl}} / h\nu, \quad (4.8)$$

bunda p_n va n_p lar mos ravishda fotodiodning n va p sohalaridagi noasosiy zaryad tashuvchilar — kovaklar va elektronlarning konsentratsiyasi;

— D_p va D_n lar — zaryad tashuvchilar — kovaklar va elektronlarning diffuziya koeffitsiyenti;

— L_p va L_n lar — zaryad tashuvchilar — kovaklar va elektronlarning diffuziya uzunligi;

— s — fotodiodning p - n o'tish tekisligidagi ko'ndalang kesimi yuzasi;

— χ — fotodiod sirtining yorug'lik oqimini aks ettirish koeffitsiyenti;

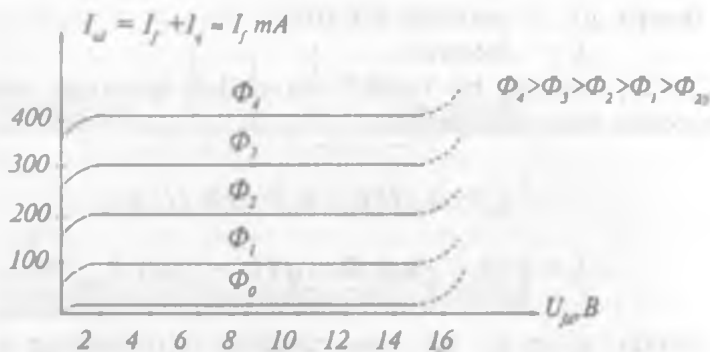
— α — yorug'lik oqimining fotodiodda yutilgan ulushini ifodalovchi o'lchamsiz koeffitsiyent;

— β — fotodiodda sodir bo'ladigan fotoelektrik o'zgarishlarning samaradorligini ifodalovchi koeffitsiyent. Fotodiodlarda har bir foton eng ko'pi bilan bitta elektron-kovak jufti hosil qilgani uchun $\beta = N_{e-k} / N_f$ munosabat bilan aniqlanadigan bu kattalikning son qiymati birdan kichik bo'ladi;

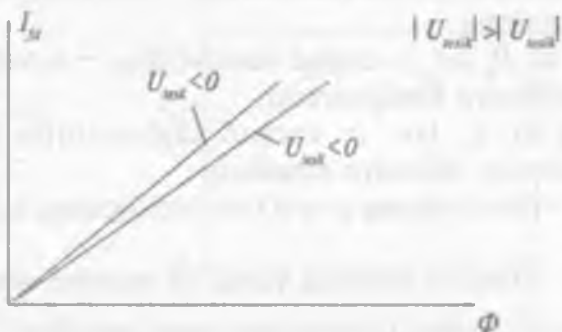
Φ va P_{nurl} lar mos ravishda fotodiod sirtiga tushayotgan yorug'lik oqimi va uning quvvati.

(4.8) munosabatdan ko'rinadiki, yorug'lik oqimining ortishi fototokning unga proporsional tarzda ortishiga olib keladi.

4.3-b rasmda fotodiodning teskari yo'nalishda qo'yilgan kuchlanishning berilgan qiymatlarida undan oqib o'tuvchi tok kuchi va yorug'lik oqimi orasidagi bog'lanishni ifodalovchi energetik xarakteristikalar aks ettirilgan. Bu xarakteristikalar to'g'ri chiziqli ko'rinishga ega va ularning holati kuchlanishning qiymatlariga deyarli bog'liq emas.



a)



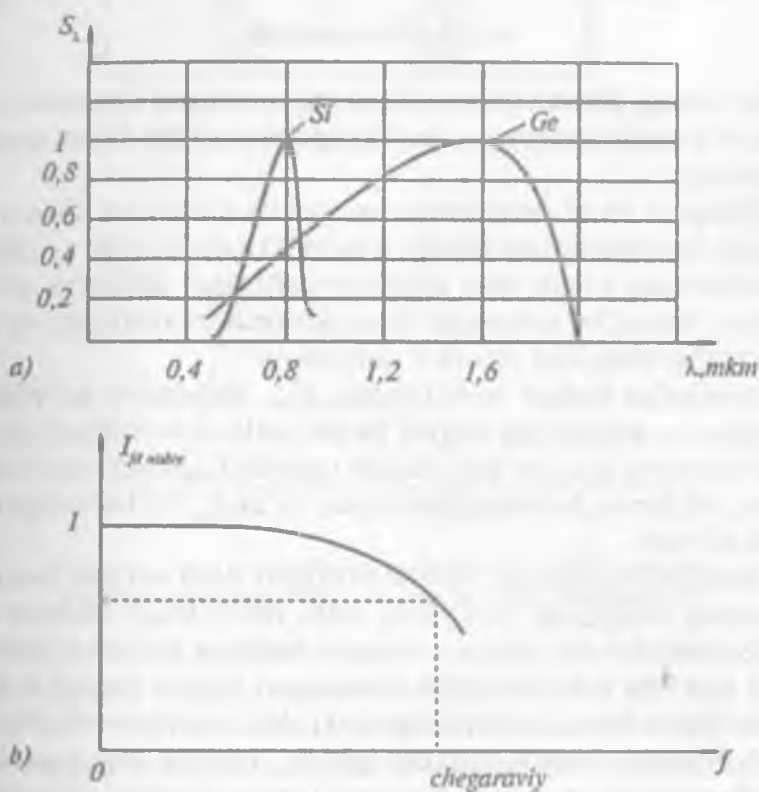
b)

4.3-rasm. Fotodiodning volt-amper xarakteristikalari (a) va energetik xarakteristikalari (b) oilasi

Fotodiodlarning integral sezgirligi bir necha o'ndan bir A/W larni tashkil etadi. Bu parametrning qiymati yorug'lik nurining to'liq uzunligiga bog'liq va turli yarimo'tkazgichlar uchun to'liq uzunligining muayyan qiymatlarida eng katta qiymatga erishadi (4.4-a rasm).

Fotodiodlar katta tezkorlikka ega bo'lgan fotoqabulqilgichlardan hisoblanadi. Ular bir necha yuz megagerslargacha chastotalarda ishlaydi. Fotodiodga qo'yiladigan kuchlanishning qiymatlari 10–30 V oraliqda yotadi. Qorong'ilik tokining qiymati germaniyli fotodiodlar uchun 10–20 mka dan, kremniyli fotodiodlar uchun esa 1–2 mka dan oshmaydi. Ulardan yorug'lik ta'sirida oqib o'tadigan tokning qiymati bir necha yuz mikroamperlarni tashkil etadi. Keyingi paytlarda murakkab tarkibli yarimo'tkazgichlardan infraqizil nurlanishiga sezgir bo'lgan fotodiodlar ishlab chiqilgan.

Ko'pchilik fotodiodlar yassi qoplamli texnologiya bo'yicha tayyorlanadi.



4.4-rasm. Fotodiodning spektral (a) va chastotaviy (b) xarakteristikallari

Fotodiodlar boshqa xil fotoqabulqilgichlarga o'xshab, integral sezgirlik S_{int} , monoxromatik sezgirlik S_λ , chegaraviy chastota f_{cheg} , qorong'ilik toki I_k , solishtirma bo'sag'a oqimi Φ_{cheg} , bo'sag'a payqash qobiliyati D kabi parametrlar bilan tavsiflanadi. Bundan tashqari, odatiy ishchi kuchlanish U_{ishchi} va teskari yo'nalishda qo'yiladigan kuchlanishning ruhsat etilgan qiymati $U_{\text{max.ishchi}}$ ham fotodiodning parametrlaridan hisoblanadi. Fotodiodlarning bir necha turlari mavjud: $p-n$ o'tishli fotodiod, $p-i-n$ tuzilishli fotodiod, geteroo'tishli fotodiod (ya'ni, turli xil yarimo'tkazgichlar orasidagi $p-n$ o'tish asosidagi fotodiod), metall va yarimo'tkazgich orasidagi

kontaktdan foydalanishga asoslangan Shottki fotodiodi, ko'chkili fotodiod shular jumlasidandir.

4.4. p-i-n fotodiodi

Bu turdagi fotodiodning o'ziga xos xususiyati shundaki, unda p^+ va n^+ sohalar xususiy yarimo'tkazgichli i qatlam bilan ajratilgan (4.5-rasm).

Undagi p^+ va n^+ belgilashlar bu sohalar kiritmalar bilan yuqori darajada boyitilganini ko'rsatadi. d qalinlikka ega bo'lgan i -qatlamga oz miqdordagi donor yoki akseptor kiritmalari diffuziya qilingan (bundan buyon bu qatlamga donor kiritmalari kiritilgan va uni n tur o'tkazuvchanlikka ega deb qaraymiz).

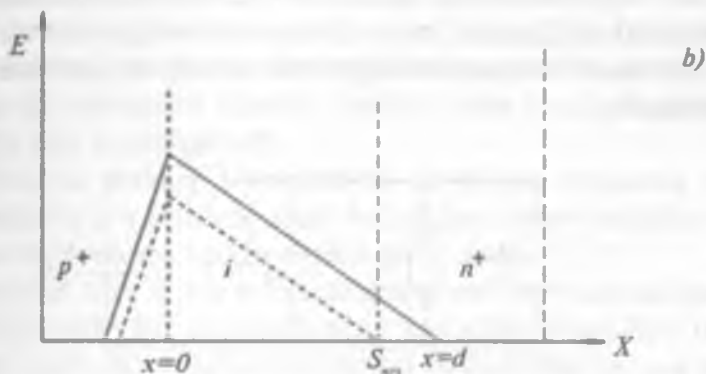
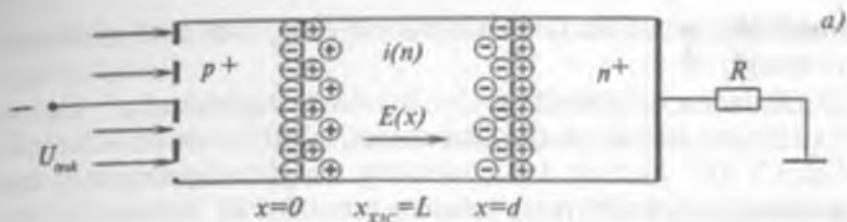
Fotodiodga teskari yo'nalishdagi U_{tesk} kuchlanish qo'yilganida i -sohada L_{hiz} qalinlikdagi hajmiy zaryad qatlami shakllanadi va ichki elektr maydoni hosil bo'ladi. Ishchi rejimda U_{tesk} kuchlanish hajmiy zaryad i qatlamni butkul qoplaydigan, ya'ni $L_{\text{hiz}}=d$ bo'ladigan qilib tanlab olinadi.

Fotodiod energiyasi yarimo'tkazgich man etilgan energetik sohasining kengligiga qaraganda katta ($h\nu > \Delta W_{\text{mes}}$) fotonlar bilan yoritilganida har bir yutilgan fotonlar hisobiga bir juft elektron va kovak hosil bo'ladi. Yorug'lik tomonidan hajmiy zaryad sohasida hosil qilingan zaryad tashuvchilar ichki elektr maydon tufayli ajralib, qarama-qarshi tomon harakat qiladi. Amalda fotodiod sirtiga tushgan yorug'lik oqimining bir qismi havo – fotodiod chegarasidan qaytadi. Bundan tashqari, yorug'lik quvvatining hajmiy zaryad sohasidagi yutiladigan ulushi L_{hiz} ning kattaligi va nurlanishning yutilishi koeffitsiyenti α ga va bu koeffitsiyent o'z navbatida nurlanishning to'lqin uzunligiga bog'liq bo'ladi. Shunday qilib, nurlanishning p^+ sohasidagi yutilishi hisobga olinmasa, kvant samaradorligi quyidagi munosabat bilan aniqlanadi:

$$\eta = (1 - R)(1 - e^{-\alpha L_{\text{hiz}}}), \quad (4.9)$$

bunda, R – frenel qaytish koeffitsiyenti; uning son qiymati ko'pchilik yarimo'tkazgichlar uchun 0,3 ga teng.

Yorug'likning hajmiy zaryad sohasidan tashqaridagi qatlamlarda yutilishi kvant samaradorligini kamaytiradi, chunki bu qatlamlarda



4.5-rasm. *p-i-n* fotodiodining tuzilishi (a) va elektr maydon kuchlanganligining uning sohalari bo'yicha taqsimoti (b)

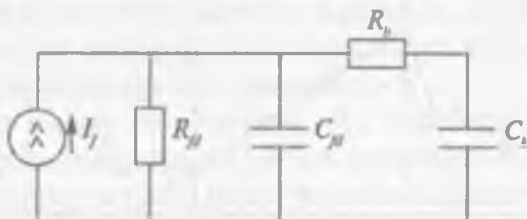
hosil bo'lgan zaryad tashuvchilar avvaliga hajmiy zaryad sohasiga diffuziyalanishi, so'ngra qarama-qarshi tomonga ajralishi kerak. Agar p^+ va n^+ sohalarini nurlanishga nisbatan shaffof qilib tayyorlansa, nurlanishning hajmiy zaryad sohasidan tashqaridagi qatlamlardagi yutilishini to'liq yo'qotishga erishish mumkin. Hajmiy zaryad sohasi kengligining yutilish koeffitsiyentining qiymati bilan mos ravishda tanlab olish *p-i-n* fotodiodning integral sezgirligini odatdagi fotodiodlardagiga nisbatan sezilarli tarzda $S_{im} \approx 0,7$ A/W gacha oshirish imkonini beradi. Bu kattalik yorug'lik nurlarining to'lqin uzunligiga bog'liq bo'ladi va turli xil yarimo'tkazgichlar uchun muayyan to'lqin uzunligida maksimal qiymatga erishadi.

Yorug'lik ta'sirida hosil bo'lgan zaryad tashuvchilarning harakat vaqti, asosan, ularning *i*-sohani uchib o'tish vaqti bilan belgilanadi:

$$t_{uchib, o't} \approx t_{dr} = \frac{d}{v_{dr}} = \frac{1}{\alpha v_{dr}}; \quad (4.10)$$

bunda, v_{dr} — zaryad tashuvchilarning elektr maydoni ta'siridagi dreyf tezligi.

Bu ifodadan ko'rinadiki, $p-i-n$ fotodiodning tezkorligi $t_{uch.o'.v} \approx 10^{-9} + 10^{-10}$ s ni tashkil etadi. Darhaqiqat, elektr maydon kuchlanganligini $2 \cdot 10^6$ ga teng deb hisoblasak, dreyf tezligining quyidagi qiymatlariga ($6-8 \cdot 10^4$ m/s) erishish mumkin. U holda d ni 10^{-2} sm ga teng qilib olinsa, $t_{uch.o'.v} \approx 10^{-9} + 10^{-10}$ s natijaga kelamiz. $t_{uch.o'.v}$ juda kichik bo'lganida fotodiodning inersionligi ekvivalent sxemasi 4.6-rasmda keltirilgan quyidagi elektr zanjirining vaqt doimiysi bilan aniqlanadi.



4.6-rasm. Yuqori chastotali $p-i-n$ fotodiodning ekvivalent sxemasi

$\tau = R_{yukl} \cdot V_{fd}$ vaqt doimiysi fotodiod sig'imini uning yuklamasi qarshiligiga ko'paytmasi bilan aniqlanadi.

Fotodiod $p-n$ o'tishining sig'imi quyidagi munosabat bilan aniqlanadi:

$$C_{\mu} = \epsilon_0 \epsilon \frac{S}{L_{xz}}, \quad (4.11)$$

bunda, ϵ_0 — vakuumning dielektrik doimiysi;

ϵ — yarimo'tkazgichning nisbiy dielektrik singdiruvchanligi, uning son qiymati ko'pchilik yarimo'tkazgich birikmalar uchun, odatda, 13 ga teng;

S — $p-n$ o'tishning ko'ndalang kesimi.

Keskin $p-n$ o'tishlar uchun L_{xz} quyidagi munosabat bilan aniqlanadi.

$$L_{xz} = \sqrt{\frac{2\epsilon_0 \epsilon (U_{msk} U_a)}{qN_d}}, \quad (4.12)$$

(4.9) ifodada U_{tsk} — p - n o'tishga teskari yo'nalishda qo'yilgan kuchlanish.

U_k — kontakt potentsiallar farqi. Bu ifodadan ko'rinadiki, hajmiy zaryad sohasining kengligi va fotodiod sig'imining kattaligi unga qo'yilgan kuchlanishga bog'liq bo'ladi.

4.7-rasmda SP109 markali kremniyli fotodiodning volt-farada xarakteristikasi keltirilgan. Fotodiodning volt-amper xarakteristikalari oilasi umumiy baza sxemasi bilan ulangan bipolar tranzistorning volt-amper xarakteristikasini eslatadi. Faqat bu holda boshqaruvchi parametr sifatida emitter toki o'rniga nurlanish quvvati P_{kir} dan foydalaniladi.

Fotodiodga teskari yo'nalishda qo'yilgan nisbatan katta kuchlanishlarda p - n o'tishda sodir bo'ladigan elektr teshilish bilan bog'liq tarzda tokning keskin ortishi ro'y beradi.

Qorong'ilik toki I_q p - i - n fotodiodning muhim parametrlaridan biri hisoblanadi. Bu parametrning kattaligi yorug'lik ta'siri bo'lmagan holda hosil bo'luvchi zaryad tashuvchilar va p - n o'tish sirti bo'ylab oqadigan sizish toklari bilan belgilanadi.

Zaryad tashuvchilar i -qatlamdagi issiqlik energiyasi va ularning qo'shni sohalardan diffuziyasi natijasida hosil bo'ladi.

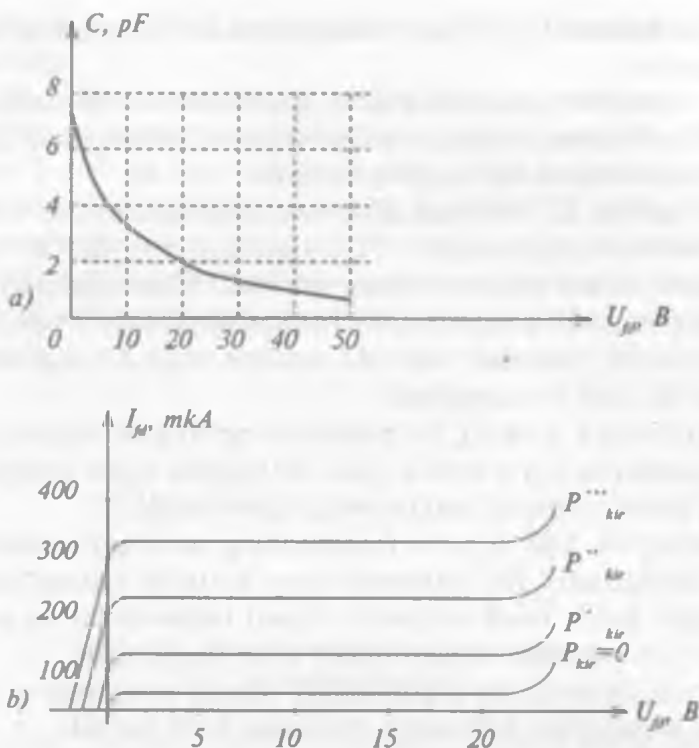
4.5. Geteroo'tishli fotodiod

Geteroo'tishli fotodiodlar fotoqabulqilgichlarning eng istiqbolli turlaridan hisoblanadi.

Geterotuzilishlar foydali ish koeffitsiyenti 100 foizga yaqin fotodiodlar yaratish imkoniyatini beradi.

Geteroo'tishli fotodiodning ish xususiyatini GaAs — GaAlAs tuzilishli fotodiod yordamida ko'rib chiqamiz. 4.8-rasmda bu turdagi geterofotodiodning tuzilishi va energetik diagrammasi keltirilgan.

Keng man etilgan energetik sohali p^+ GaAlAs qatlami o'rta n GaAs sohasida yutiladigan nurlanishni o'tkazuvchi darcha vazifasini o'taydi. Geteroo'tishning ichki tomonida man etilgan energetik sohalarning kengligi 1,4 eV ni tashkil etadi. Yorug'lik nurlanishi ta'sirida hosil bo'lgan kovaklar p^+ GaAlAs sohaga hech qanday to'siqsiz o'tadigan o'rta aktiv n GaAs sohaning qalinligi nurlanishning asosiy qismining yutilishini ta'minlaydigan qilib tanlab

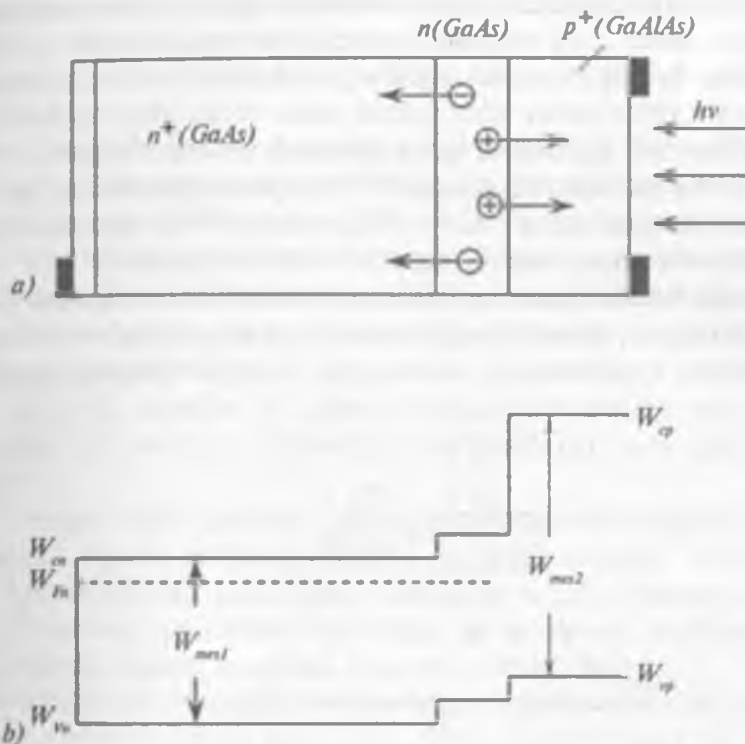


4.7-rasm. SP109 fotodiodining volt-farada (a) va volt-ampér (b) xarakteristikalari

olinadi. Bu sohaning yuqori darajadagi tozaligi, qatlamlar chegarasidagi sirt holatlari zichligining kamligi yorug'lik ta'sirida hosil bo'lgan zaryad tashuvchilarning rekombinatsiya jarayoni natijasida yo'qolishini kamaytirish imkonini beradi.

Shunday qilib, geteroo'tishli fotodiodlar katta foydali ish koeffitsiyentini ta'minlagan holda $p-n$ va $p-i-n$ tuzilishli fotodiodlarga tegishli afzalliklarga, yuqori sezgirlikka, yuqori tezkorlikka ega bo'ladi. Ular kichik ishchi kuchlanishlarda ishlaydi.

Geteroo'tishlar ularni tashkil etuvchi yarimo'tkazgich modallarni tegishli tarzda tanlab olish yo'li bilan to'liq uzunliklari optik diapazonining istalgan qismida ishlay oladigan fotodiodlar yaratish imkonini beradi. Geteroo'tishli fotodiodning bu afzalligi shu bilan bog'liqki, unda ishchi to'liq uzunligi man etilgan energetik



4.8-rasm. Geteroo'tishli fotodiodning tuzilishi (a) va energetik diagrammasi (b)

sohalarning farqi bilan aniqlanadi. Baza soha materialini tanlash imkoniyatining kengligi tufayli geterofotodiodlarda elektr yurituvchi kuchlanishning erishishi mumkin bo'lgan qiymatlari 0,8–1,1 V ni tashkil etadi. Bu kremniyli fotodiodga tegishli qiymatdan 2 – 3 marta kattadir.

Geteroo'tishli fotodiodning asosiy kamchiligi uni tayyorlash jarayonining murakkabligi bilan bog'liq.

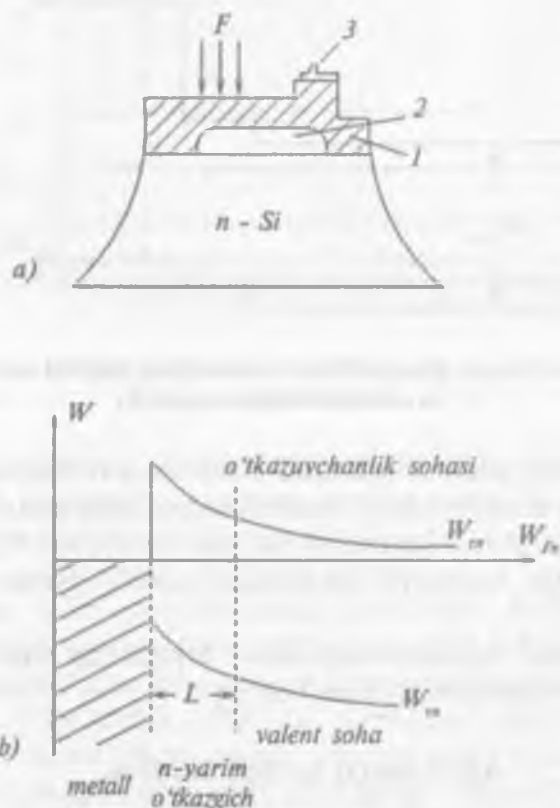
4.6. Shottki to'siqli fotodiod

Bu turdagi diodning tuzilishi va energetik diagrammasi 4.9-rasmda keltirilgan. n -turdagi kremniy sirtiga 0,01 mkm ga yaqin qalinlikdagi oltin pardasi hosil qilinadi. Uning sirti yupqa 0,05

mkm ga yaqin qalinlikdagi ZnS dielektrik qatlami bilan qoplanadi. Kremniy, oltin, ZnS modalar sindirish ko'rsatkichlarining o'zaro farqlanishi tufayli yorug'lik nuri bu pardalar chegaralaridan qaytib, juda kichik yo'qotishlar bilan metall parda orqali kremniy kristaliga kiradi. Masalan, geliy-neon lazeri tomonidan nurlantirilgan ($\lambda=0,63$ mkm) yorug'lik oqimining atigi 5 foizga yaqin quvvati yo'qoladi.

Agar fotonlar energiyasi $h\nu \geq W_{mes}$ munosabatni qanoatlantirsa, kremniy kristalining sirtida xususiy yutilish kuzatiladi.

Shottki fotodiodlarining odatdagi fotodiodlarga nisbatan o'ziga xosligi shundaki, ularning ish prinsipi asosiy zaryad tashuvchilarning harakatidan foydalanishga asoslangan. Ularda noasosiy zaryadlar



4.9-rasm. Shottki to'siqli fotodiodning tuzilishi (a) va energetik diagrammasi (b):

1 — metall pardasi; 2 — nurlanuvchi qatlam; 3 — chiqqich

tashuvchilarning injeksiyasi va ekstraksiyasi bilan bog'liq ularning bazada yig'ilishi va so'rilishi jarayonlari sodir bo'lmaydi.

Shottki fotodiodlarining istiqbolliligi ularning quyidagi afzalliklari bilan bog'liq:

- fotodiod bazasi qarshiligining kichikligi. Shu sababdan to'siq sig'iminining vaqt doimiysi $\tau = S_{to'siq} R_{baza}$ bu turdagi fotodiodlar uchun taxminan 10^{-12} s ni tashkil etadi va ularning inersionligi ($10^{-10} + 10^{-11}$ s) yorug'lik ta'sirida hosil bo'lgan zaryad tashuvchilarning hajmiy zaryad sohasini uchib o'tish vaqti bilan belgilanadi;

- bir vaqtning o'zida yuqori tezkorlikka va sezgirlikka ega ekanligi ($S_{\Sigma} \approx 0,5 A/W$);

- turli xil metallar va yarimo'tkazgichlar asosida to'g'rilash xossasiga ega bo'lgan fotosezgir tuzilmalarni tayyorlashning osonligi;

- integral mikrosxemalar bilan yaxshi moslashuvchanligi.

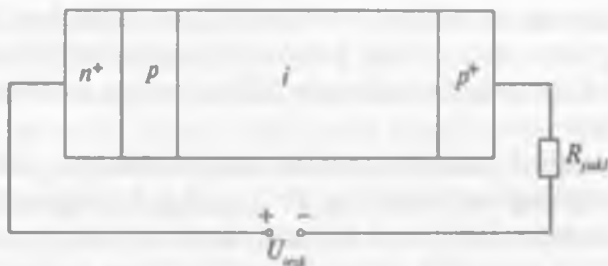
Shottki fotodiodlarining spektral sezgirlik sohasini uzun to'lqinlar tomon siljitish uchun baza sohasining solishtirma qarshiligini va bu sohaning qalinligini oshiriladi, ya'ni $m-i-n^+$ tuzilmasidan foydalaniladi (bunda m -metall qatlamini ifodalaydi).

Fotodiodlarda ularning sirtida yutilgan har bir foton ko'pi bilan bittadan elektron-kovak jufti hosil qilib, ulardan faqat bir qismi tok o'tish jarayonida ishtirok etadi. Shu sababdan fotodiodlarning integral fotosezgirliги boshqa fotoqabulqilgichlarga nisbatan unchalik katta emas. Bu hol fotodiodlarning kamchiligi hisoblanadi. Fotodiodning bu kamchiligini bartaraf etish yo'lidagi izlanishlar o'z vaqtida ko'chkili fotodiodlarning yaratilishiga olib keldi.

4.7. Ko'chkili fotodiod

Teskari ulangan p-n o'tishda sodir bo'ladigan ko'chkili teshilish jarayonida tokning o'sish sur'atini yorug'lik oqimi ta'sirida boshqarishga asoslangan yarimo'tkazgichli fotoqabulqilgichlarga ko'chkili fotodiod deb ataladi.

Ko'chkili fotodiodning ish prinsipini quyidagicha tavsiflash mumkin. Yorug'lik oqimi ta'sirida diodning baza sohasida va kollektor o'tishda generatsiyalangan elektronlar va kovaklar kollektor o'tishdagi kuchli elektr maydonida qarama-qarshi yo'nalishda katta



4.10-rasm. Ko'chkili fotodiodning tuzilishi va ulanish sxemasi

tezlik bilan harakat qilib, muvozanat holatdagi atomlarni ionlash-tiradi. Zarb ionizatsiyasi deb nomlanadigan bu jarayonda yangi elektron-kovak juftlari hosil bo'ladi (4.10-rasm).

Ular o'z navbatida tezlashib, boshqa ionlash jarayonlarida ishtirok etadi.

Bu hol zaryad tashuvchilar konsentratsiyasining tez sur'at bilan ortishiga olib keladi. Shu tariqa asbobdan oqib o'tadigan tokning o'sish sur'atini boshqarishga erishiladi.

4.11-rasmda ko'chkili fotodiodning volt-amper xarakteristikalarini o'ylab keltirilgan. Chizmadan ko'rinadiki, ko'chkili fotodioddan oqib o'tadigan fototok unga qo'yilgan kuchlanishning ortishi bilan qorong'ilik tokiga karrali ravishda o'sib boradi. Bunda qorong'ilik toki qanchalik kichik bo'lsa, boshqa bir xil sharoitlarda zaryad tashuvchilarning ko'payish koeffitsiyenti, demak fotosezgirlik ham shunchalik katta bo'ladi.

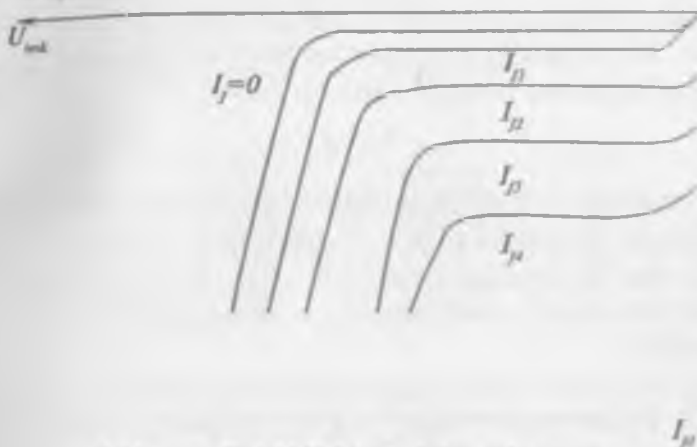
Xarakteristikalardan ko'rinadiki, tokning katta qiymatlarida u omik ko'rinish kasb etadi:

$$I = (U_{p-n} - U_{izm}) / R. \quad (4.13)$$

Bu rejimda chiqish toki yorug'lik oqimining qiymatiga bog'liq emas, ya'ni fototok o'zgarmaydi.

Ko'chkili fotodiodda birlamchi tokning kuchayish jarayoni zaryad tashuvchilar konsentratsiyasining ko'payish koeffitsiyenti bilan tavsiflanadi:

$$M = \frac{I_f}{I_p}, \quad (4.14)$$



4.11-rasm. Ko'chkili fotodiodning volt-ampyer xarakteristikalarlari oilasi

bunda, I_0 — ko'chki sodir bo'ladigan kuchlanishga nisbatan kichik kuchlanishga mos kelgan birlamchi fototok, I_f — fotodiodning chiqish toki bo'lib, u fototokning ko'payishini ham hisobga oladi.

Statik ko'payish koeffitsiyenti M p - n o'tishga qo'yiladigan kuchlanishning funksiyasidir. Bu bog'lanish quyidagi munosabat bilan aniqlanadi:

$$M = \frac{I}{1 - \left(\frac{U_{p-n}}{U_{tesh}} \right)^k}, \quad (4.15)$$

bunda, U_{tesh} — teshilish kuchlanishi:

$$U_{tesh} = U_f - I_f R, \quad (4.16)$$

U_{p-n} — p - n o'tish o'tishdagi kuchlanish;

R — ko'chkili fotodiodning ketma-ket qarshiligi;

k — yarimo'tkazgich modasining xiliga, undagi kiritmalarning turi va taqsimotiga, shuningdek fotodiod sirtiga tushayotgan yorug'likning to'lqin uzunligiga bog'liq koeffitsiyent. Uning son qiymati n turdagi kremniy uchun 3,4+4; p turdagi kremniy uchun esa 1,5+2 oraliqda yotadi.

Yuqoridagi miqdoriy munosabatlardan ma'lum bo'ladiki, ko'chkili fotodiodning integral sezgirliği oddiy fotodiodnikiga qaraganda bir necha tartibga katta bo'ladi:

$$S_{\text{int.k}} f = M \cdot S_{\text{int.kf}} \cdot \quad (4.17)$$

Shu sababdan ko'chkili fotodiodlar sezgirlik va tezkorlik jihatidan eng istiqbolli fotoqabulqilgich hisoblanadi. Ulardan, jumladan, kuchsiz yorug'lik signallarini payqash, tolali optik uzatish tizimlarida yorug'lik signalini elektr signaliga o'zgartirish maqsadlarida foydalaniladi.

Biroq ko'chkili fotodiodlarning yanada kengroq qo'llanilishi bir qator qiyinchiliklar bilan bog'liq: yuqori darajada barqaror kuchlanish manbalaridan foydalanish zarurati, iste'mol quvvatining kattaligi, p - n o'tishdagi teshilish hodisasining tasodifiy tusga ega ekanligi bilan bog'liq beqarorlik, shovqinning kattaligi, asbobning turli namunalariga tegishli parametrlarning o'zaro farqlanishi shular jumlasidandir.

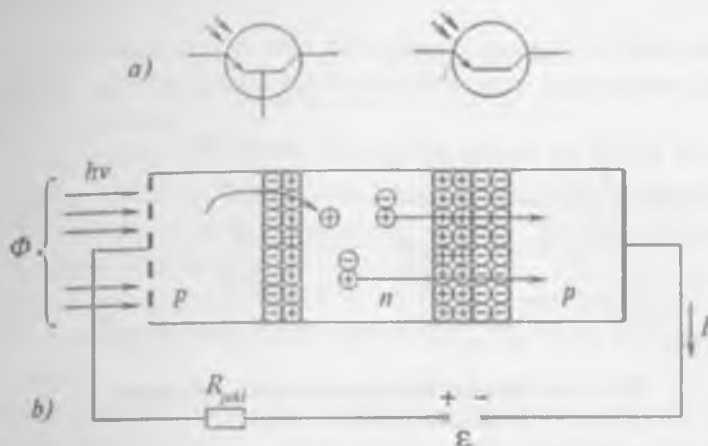
Begona kiritmalar konsentratsiyasi va nuqsonlari juda kam bo'lgan toza yarimo'tkazgichli modalar olish texnologiyasining rivoji bu qiyinchiliklarning ko'pchiligini bartaraf etish imkonini beradi, deb umid qilish mumkin.

4.8. Fototranzistorlar

Tranzistorlarga o'xshash tuzilishli, chiqish toki yorug'lik oqimi ta'sirida boshqariladigan yarimo'tkazgichli fotoqabulqilgichlar fototranzistorlar deb ataladi.

Fototranzistorlarning quyidagi turlari mavjud: bipolar fototranzistor, maydoniy fototranzistor, bitta p - n o'tishli fototranzistor. Fototranzistorlar bilan tanishishni bipolar fototranzistorlarni ko'rib chiqish bilan cheklanamiz. Bu turdagi fototranzistorlarning shartli belgilanishi, tuzilishi va kuchlanish manbayiga ulanish sxemasi 4.12-rasmda keltirilgan.

Asbobning metall qobig'ida shaffof darcha ko'zda tutilgan. Bu darcha orqali yorug'lik oqimi fototranzistor sohalaridan biri — baza sohasi ulanadi, ya'ni uning baza elektrodi kuchlanish manbayiga ulanmaydi. Emitter va kollektor elektrodlari orasiga qo'yilgan



4.12-rasm. Bipolar fototranzistorning shartli belgilanishi (a), tuzilishi (b) va kuchlanish manbayiga ulanish sxemasi

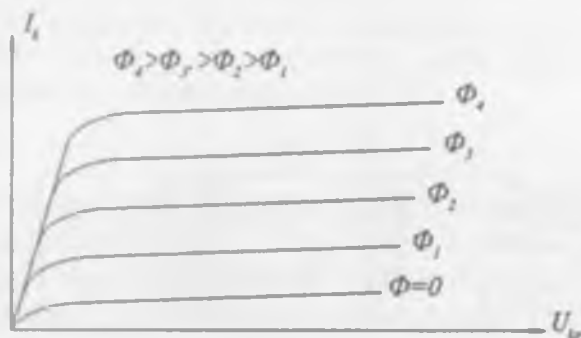
kuchlanish ta'sirida tranzistorning emitter o'tishi to'g'ri yo'nalishda, kollektor o'tishi esa teskari yo'nalishda ulanadi.

Bipolar fototranzistorlarning ish prinsipi quyidagicha asbobning baza sohasi yoritilganida, unda elektron-kovak juftlari hosil bo'ladi. Diffuziya jarayoni tufayli kollektor o'tishga yetib kelgan juftlar fotodioddagiga o'xshab bu o'tishdagi ichki elektr maydoni tufayli ikkiga ajraladi. p - n - p tuzilishli tranzistorlarda kovaklar kollektor tomon harakat qiladi, elektronlar esa bazada qolib, uning potensialini kamaytiradi.

Buning natijasida kovaklarning emitter sohasidan qo'shimcha injeksiyasi yuzaga kelib, bu hol o'z navbatida kollektor tokining ortishiga olib keladi.

4.13-rasmda ana shunday fototranzistorlarning volt-amper xarakteristikalari oilasi aks ettirilgan. Ular umumiy emitter sxemasi bo'yicha ulangan bipolar tranzistorning chiqish xarakteristikalar oilasini eslatadi. Biroq bu xarakteristikalar baza toki bilan emas, yorug'lik oqimi ta'sirida boshqariladi.

Yorug'lik oqimining $\Phi=0$ qiymatida asbobdan qiymati βI_{k0} ga teng qorong'ilik toki oqib o'tadi. Yorug'lik oqimining ortishi chiqish xarakteristikasining oqimga deyarli proporsional ravishda tokning katta qiymatlari tomon siljishiga olib keladi. Xarakteristikalardan ko'rinadiki, U_{ke} kuchlanishning yetarli darajada katta muayyan



4.13-rasm. Bipolar fototranzistorning volt-ampere xarakteristikalar oilasi

qiymatlarida tokning keskin ortishi, ya'ni elektr teshilish hodisasi kuzatiladi (uzlukli chiziqlarga qarang).

Bipolar fototranzistorlar quyidagi parametrlar bilan tavsiflanadi:

- integral sezgirlik, bipolar tranzistorlarda bu parametrlarning qiymati fotodiodlarnikiga qaraganda bir-ikki tartibga katta bo'ladi va bir necha yuz mA/W larni tashkil etadi;
- kuchlanishning ishchi qiymatlari (10–15 V oralig'ida);
- tok kuchining ishchi qiymatlari (bir necha o'n mA gacha);
- qorong'ilik toki (bir necha yuz mA gacha);
- sochilish quvvatining eng katta ruxsat etilgan qiymati (bir necha o'n mW gacha);
- chegaraviy chastota.

Qotishmali bipolar fototranzistorlarning chegaraviy chastotalari bir necha kHz larni tashkil etadi.

Planar yassi qatlamli texnologiya bo'yicha tayyorlangan bipolar fototranzistorlar bir necha o'n MHz largacha chastotalarda ishlaydi.

Fotosezgirligining fotodiodnikiga qaraganda kuchaytirish koefitsiyenti β marta kattaligi bipolar fototranzistorlarning afzalligi hisoblanadi.

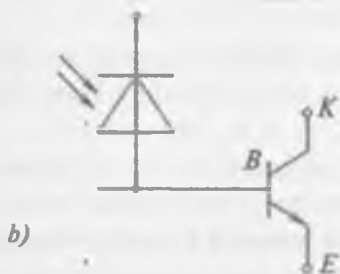
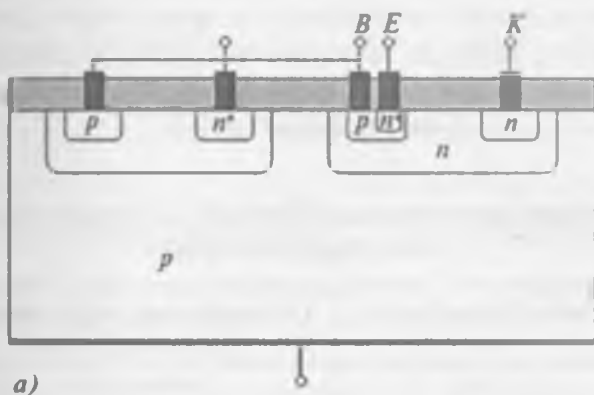
Shunday qilib, bipolar fototranzistorlar fotodiodga qaraganda katta fotosezgirlikka, fotorezistorga nisbatan katta tezkorlikka ega bo'lgan fotoqabulqilgichdir.

Biroq bir vaqtning o'zida ham katta fotosezgirlikka, ham katta tezkorlikka ega bo'lgan fototranzistorlarni tayyorlash murakkab masala hisoblanadi.

Buning sababi shundaki, yorug'lik oqimi ta'siriga sezgir baza sohasi yuza sirtining oshirilishi zaryad tashuvchilarning bu soha bo'yicha uchib o'tish vaqtining ortishi va fotoqabulqilgich tezkorligining kamayishiga olib keladi.

Integral ko'rinishda fotodiod va bipolar tranzistorlardan tarkib topgan fotoqabulqilgich bu muammoning hal etish imkonini beradi (4.14-rasm).

Yetarli darajada katta yuza sirtiga ega bo'lgan fotodiod bu fotoqabulqilgich fotosezgirligi, ya'ni asbob tezkorligining ortishiga olib keladi.



4.14-rasm. Fotodiod-tranzistorning tuzilishi (a) va elektr sxemasi (b)

Harorat ta'siriga barqarorligining nisbatan pastligi, qorong'ilik tokining fotodiodnikiga nisbatan o'nlab-yuzlab marta katta ekanligi, shovqin darajasining yuqoriligi fototranzistorlarning kamchiligi hisoblanadi.

4.9. Optik uzatish tizimlarida qo'llaniladigan fotoqabulqilgich turlarining qiyosiy tavsifi

Yuqoridagi bayondan ma'lum bo'ldiki, qabul qiluvchi optoelektron modulda qo'llash uchun mo'ljallangan $p-n$ tuzilishli fotodiod, $p-i-n$ tuzilishli fotodiod, ko'chkili fotodiod va fototranzistorlar o'zlarining tuzilishi, ish mexanizmi, xarakteristika va parametrlari bilan farq qiladi. Avvalo, shuni ta'kidlash joizki, ular man etilgan energetik sohalarining kengligi o'zaro farq qiladigan turli xil yarimo'tkazgich va yarimo'tkazgichli birikmalardan tayyorlanadi va shu sababdan ularning ishchi to'lqin uzunligi diapazoni bir-biridan farq qiladi (4.1-jadval).

4.1-jadval

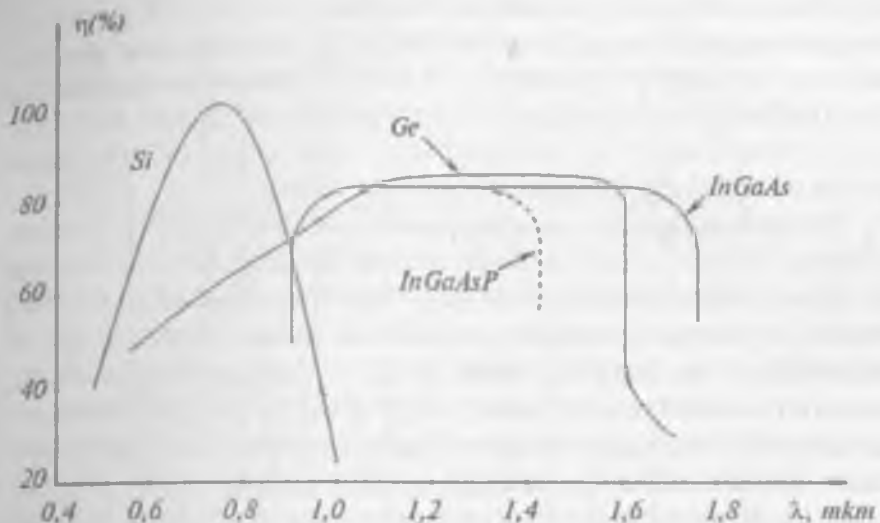
Fotoqabulqilgichlar tayyorlashda ishlatiladigan yarimo'tkazgichlar va yarimo'tkazgichli birikmalar

Yarimo'tkazgichning turi	Qabul qilinuvchi to'lqin uzunligi diapazoni, $\Delta\lambda$, nm
Si	400–1000
Ge	600–1600
GaAs	800–1000
InGaAsP	1000–1700
.	1100–1600

Bu hol ushbu yarimo'tkazgichlarning kvant samaradorligi va to'lqin uzunligi orasidagi bog'lanishning xususiyatlari bilan bog'liq (4.15-rasm).

Tolali optik uzatish tizimining ish rejimini ta'minlash uchun fotoqabulqilgich uzatuvchi optoelektron modulining yorug'lik manbayi va optik to'la bilan optik jihatdan muvofiqlashgan bo'lishi kerak. Boshqacha aytganda, quyidagi munosabat bajarilishi zarur:

$$\Delta W_{\text{M.F.A.}}^{\text{REV}} \leq \Delta W_{\text{M.F.A.}}^{\text{SYM}} = \Delta W^{\text{ex}}; \quad (4.15)$$



4.15-rasm. Yarimo'tkazgichlarning kvant samaradorligi va to'liqin uzunligi orasidagi bog'lanish grafigi

Bu yerda va $\Delta W_{m.e.s}^{fqq} - \Delta W_{m.e.s}^{yom}$ mos ravishda fotoqabulqilgich va yorug'lik manbayi tayyorlangan yarimo'tkazgichlarning man etilgan energetik sohalarining kengligi, ΔW^o — optik tola shaffoflik darchasining spektral diapazoni.

Bundan kremniyli va arsenid galiyli fotoqabulqilgichlardan optik tolaning birinchi «shaffoflik darchasi» da, germaniyli, InGaAs va InGaAsP li fotoqabulqilgichlardan eca optik tolaning ikkinchi va uchinchi «shaffoflik darchalari» da ishlaydigan tolali optik uzatish tizimlarida foydalanish mumkin degan xulosaga kelish mumkin va bu hol tolali uzatish tizimining sifat ko'rsatkichlari — regeneratsiyasiz uzatish bo'lagining uzunligi, o'tkazish polosasining kengligi va boshqalarga tegishli tarzda ta'sir etadi.

Fotoqabulqilgichlarni tayyorlashda qo'llaniladigan yarimo'tkazgich materiallari energetik sohalarining turli xilligi ularning muhim parametrlaridan biri hisoblangan va kattaligi noasosiy zaryad tashuvchilarning konsentratsiyasi bilan belgilanadigan birlamchi qorong'ilik toki I_q qiymatining farqlanishiga sabab bo'ladi. Chunonchi, yarimo'tkazgich man etilgan energetik sohasi kengligining kamayishi qorong'ilik toki qiymatining eksponensial qonuniyat

bo'yicha ortishiga olib keladi (4.2-jadval). Bu hol o'z navbatida fotoqabulqilgich tomonidan qabul qilinadigan minimal quvvat sathi, shuningdek, issiqlik tabiatiga ega bo'lgan shovqin sathining ortishiga sabab bo'ladi. Fotoqabulqilgichlardan foydalanish nuqtayi nazaridan salbiy hisoblangan bu holatlarning oldini olish uchun ularni mikrosovitkichlarga joylashtirish tavsiya etiladi.

Fotoqabulqilgichlar ekspluatatsion parametrlarining qiymati ularning asosini tashkil etadigan yarimo'tkazgich materiallarining bir qator boshqa xususiyatlari bilan ham bog'liq. Jumladan, ularning yuqori darajadagi tezkorligini ta'minlash uchun noasosiy zaryad tashuvchilarning harakatchanligi katta bo'lgan yarimo'tkazgichlardan foydalanish zarur. Yuqori sezgirlikka ega bo'lgan fotoqabulqilgichlarni tayyorlash esa noasosiy zaryad tashuvchilarning yashash vaqti, demak, diffuziya uzunligi yetarli darajada katta bo'lgan, yorug'likning yutilish koeffitsiyenti asbobning aktiv ishchi sohasida tarqalish yo'nalishi bo'yicha mo'tadil qiymatga ega bo'lgan yarimo'tkazgichlardan foydalanishni taqozo etadi. Fotoqabulqilgichlarning xarakteristika va parametrlari ulardan foydalanish nuqtayi nazaridan nafaqat yarimo'tkazgich materialining turiga, shuningdek, ularning tuzilish xususiyatlari, ish mexanizmiga ham jiddiy ravishda bog'liq bo'ladi.

p - n tuzilishli fotodiod konstruktiv jihatdan sodda, yetarli darajada katta tezkorlik ($10^{-8}+10^{-9}$ sek) va sezgirlikka ega, xarakteristika va parametrlari barqaror, kam shovqinli fotoqabulqilgich hisoblanadi. Bu turdagi fotoqabulqilgichlarning sezgirligi va tezkorligini oshirish borasidagi izlanishlar o'z vaqtida p - i - n tuzilishli fotodiodlarning yaratilishiga olib keldi.

Kiritmalar bilan kuchli tarzda ($N_d, N_a \approx 10^{18}+10^{19} \text{ sm}^{-3}$) boyitilgan p va n sohalar orasiga joylashtirilgan bir necha o'n mikrometr qalinlikdagi xususiy yarimo'tkazgichli (i -sohali) bu turdagi fotoqabulqilgichlar bir tomondan yorug'lik oqimining to'laroq yutilishini ta'minlab, asbob sezgirligini $0,7+0,8 \text{ A/W}$ largacha oshirish, ikkinchi tomondan elektr maydonining bu sohada vujudga kelgan katta kuchlanganligi hisobiga ekstraktsiyalanuvchi noasosiy zaryad tashuvchilarning bu maydon orqali uchib o'tish vaqtining kamayishiga, ya'ni asbob tezkorligining 10^{-10} sek largacha erishishiga olib keladi. Shu sababdan p - i - n fotodiodlardan katta uzatish tezligiga

**Tolali optik uzatish tizimlari qabul qiluvchi optoelektron
modulida qo'llaniladigan fotoqabulqilgichlarning qiyosiy tavsifi**

Fotoqabulqilgich- larning turi		Qabul qilinadigan to'lqin uzunligi diapazoni, nm	Qoron- g'illik toki, mkA	Tok bo'- yicha sezgirligi, A/W	Ulanish- uzilish vaqti, ns	Xarakteris- tika va parametr- larining barqarorlik darajasi	Shovqin darajasi	Qo'llaniladigan spektr diapazoni
Tuzilishi	Materiali							
p-i-n fotodiodi	Si	400—1000	10	0.5	0.1—5	Barqaror	Kam shovqinli	«1-shaffoflik darchasi»
p-i-n fotodiodi	InGaAs	1000—1700	0.1—3	0.8	0.01—5	Barqaror	Kam shovqinli	«2 va 3-shaffoflik darchasi»
ko'chkkili fotodiod	Ge	600—1600	30	20—60	0.3	Nobarqaror	Shovqin darajasi yuqori	«2 va 3-shaffoflik darchasi»
ko'chkkili fotodiod	InGaAs	1000—1700	400	20—60	0.3—1	Nobarqaror	Shovqin darajasi yuqori	«2 va 3-shaffoflik darchasi»
fototran- zistor	Si	400—1000	25	18	2500	Nobarqaror	Shovqin darajasi yuqori	«1-shaffoflik darchasi»

ega bo'lgan tolali optik tizimlarda keng foydalaniladi. Biroq bu turdagi fotoqabulqilgichlar jiddiy bir kamchilikka ega. Ularning chiqish toki nisbatan juda kichik, uning qiymati bir necha yuz (400–500) mikroamperdan ortmaydi, integral sezgirliги esa, 0,7 – 0,8 A/W oraliqda yotadi. Bu hol *p-i-n* fotodiodlarda sodir bo'ladigan fotoelektrik o'zgarishlarda kvant samaradorligi, ya'ni bitta foton hisobiga hosil bo'ladigan elektron-kovak juftlari o'rtacha sonining birdan kichikligi bilan bog'liq. Bu hol *p-i-n* tuzilishli fotoqabulqilgichni undan keyin keladigan elektron qurilmalar bilan muvofiqlashtirish uchun bipolar yoki maydoniy tranzistorli kuchaytirgich kaskadlaridan foydalanish zaruratini tug'diradi va ushbu optoelektron asbobning konstruktiv jihatdan murakkablashuviga olib keladi.

Ichki kuchaytirish xususiyatiga ega bo'lgan ko'chkili fotodiodlar ushbu kamchilikni bartaraf etish imkonini beradi. Bu turdagi fotoqabulqilgichlar o'zlarining tuzilish xususiyatlari va ish mexanizmiga ko'ra, ularning yorug'likka sezgir sirtiga tushgan fotonlar hisobiga hosil bo'ladigan elektron-kovak juftlarini bir necha yuzlab marta oshirish imkonini beradi. Natijada fotoqabulqilgichning sezgirliги bir necha tartib (30 – 60 A/W) ga ortadi. Chiqish tokining qiymati bir necha o'n mA ni tashkil etadi va shu tariqa kuchaytirgich kaskadlaridan foydalanish zarurati bartaraf etiladi.

Shuni ta'kidlash joizki, ko'chkili fotodiodlarning tezkorligi, ularning elektrodleri o'lchamlari tegishli tarzda tayyorlanganida *p-i-n* fotodiodlarning tezkorligidan unchalik farq qilmaydi. Zero, noasosiy zaryad tashuvchilarning kuchli elektr maydonidagi ekstraksiya jarayonidagi ko'chkili tarzda ko'payishi juda tez sur'at bilan sodir bo'ladi va asbobning relaksatsiya vaqtiga deyarli ta'sir etmaydi. Yuqorida qayd etilgan afzalliklar yuqori darajadagi sezgirlik, katta tezkorlik, chiqish tokini kuchaytirish zaruriyatining yo'qligi tufayli ko'chkili fotodiodlar zamonaviy magistral tolali optik tizimlarda keng qo'llaniladi. Ulardan foydalanish axborot oqimining tezligini 2,5 va hatto 10 Gbit/s largacha oshirish imkonini beradi. Biroq ko'chkili fotodiodlardan qabul qiluvchi optoelektron modulda foydalanish bir qator muammolarni hal etishni talab etadi:

– bu turdagi fotoqabulqilgichlarda noasosiy zaryad tashuvchilarning ko'chkili ko'payishi jarayoni tasodifiy jarayonlar sirasiga

kiradi. Shu sababdan ko'chkili fotodiodlarning xarakteristika va parametrlari *p-i-n* fotodiodlarniki darajasida barqaror emas. Ko'chkili fotodiodda sodir bo'ladigan jarayonlarda nafaqat signal, balki, shovqin sathi ham kuchayadi. Tadqiqotlar shovqin sathi signalga nisbatan kuchliroq sur'atda kuchayishini ko'rsatadi. Shunday qilib, ko'chkili fotodiod shovqin darajasi katta fotoqabulqilgich hisoblanadi;

— ko'chkili fotodiodlar *p-i-n* fotodiodlarga qaraganda yuqori ishchi kuchlanishini talab etadi. Bu esa kerakli ishchi kuchlanish bilan ta'minlovchi maxsus elektr zanjirlarni, shuningdek, harorat o'zgarishlariga nisbatan barqarorlikni ta'minlovchi tizimlarning qo'llanilishini talab etadi.

Ushbu bobda ichki kuchaytirish xususiyatiga ega bo'lgan fotoqabulqilgichlarning yana bir turi — bipolar tranzistorlar asosidagi fototranzistorlarning ish mexanizmi, xarakteristika va parametrlari ham ko'rib chiqildi. Bu turdagi fototranzistorlarning chiqish xarakteristikalarini bipolar tranzistorlarning shu turdagi xarakteristikalariga o'xshash ko'rinishga ega. Yorug'lik oqimi tarkibidagi fotonlarning ushbu asbob bazasi va kollektor o'tishi sohasidagi yutilishi, natijada hosil bo'lgan elektron-kovak juftlarining ko'payishi bilan bog'liq bo'lgan elektron jarayonlar, undan oqib o'tadigan tok qiymatini *p-i-n* fotodioddagiga nisbatan yuzlab marta oshirish imkonini beradi. Shu sababdan fototranzistorlarning sezgirliigi bir necha o'n W ni tashkil etadi.

Biroq fototranzistorlarning tezkorligi *p-i-n* va ko'chkili fotodiodlarniki qadar yuqori emas. Ulardan ko'pi bilan bir necha o'n MHz li modulyatsiya chastotalaridan foydalanish mumkin. Shu sababdan ulardan yuqori uzatish tezligi talab etilmaydigan tolali optik aloqa tizimlaridagina foydalanish mumkin.

4.10. Tolali optik aloqa tizimlarining optoelektron qabul qiluvchi moduli va uning tarkibiy qurilmalari

Qabul qiluvchi optoelektron modul tolali optik aloqa tizimining muhim tarkibiy qismi hisoblanadi. U tola orqali qabul qilingan optik signalni elektr signaliga o'zgartirib beradi. Bu signalga keyingi elektron qurilmalar tomonidan ishlov beriladi.

Qabul qiluvchi optoelektron modul quyidagi funksional elementlardan tarkib topadi:

- optik signalni elektr signalga o'zgartirib beruvchi fotoqabulqilgich;
- elektr signalni kuchaytirib, uni ishlov berish uchun yaroqli ko'rinishga keltiruvchi elektron kuchaytirgichlar kaskadi;
- signalning boshlang'ich shaklini qayta tiklovchi demodulyator.

Amalda har xil qabul qiluvchi optoelektron modullar tarkibiga kiruvchi funksional elementlar biroz farq qilishi mumkin. Masalan, ko'chkisimon fotodiod turida detektor ichki kuchaytirishni ta'minlagani uchun bu holda undan keyin keladigan elektron kuchaytirgichning xususiy shovqinlari foydali signal sathiga nisbatan ancha kam bo'ladi. Ba'zi qabul qiluvchi optoelektron modullarda demodulyator yoki qaror qabul qiluvchi zanjir bo'lmasligi mumkin. Ayrim hollarda qabul qiluvchi modul ishini samarali tashkil qilish uchun fotodetektordan oldin optik kuchaytirgichdan foydalaniladi. 4.16-rasmda analog va raqamli qabul qiluvchi modulning funksional elementlari keltirilgan. Analog qabul qiluvchi optoelektron modul analog optik signalni qabul qilib, uni chiqishdagi analog elektr signalga aylantirib beradi. Bu turdagi qabul qilgichlarga o'zgartirishlarning yuqori darajada chiziqliligi va signalni past sathli shovqin bilan kuchaytirish talablari qo'yiladi, aks holda signalning buzilishi kuchayadi. Ko'p sonli qaytargichli, uzunligi katta liniyalarda bu signalning buzilishi va shovqinlar to'planib, analog aloqa liniyalarining samaradorligini kamaytiradi.

Raqamli uzatish chog'ida impulslar shaklining aniq retranslatiya qilish talab etilmaydi. Raqamli qabul qilgich logik 0 va 1 signallarni qabul qilish uchun belgilangan bo'sag'alarga ega bo'lgan, qanday signal kelganligini ajrata oladigan, shovqinlarni bartaraf etib, signalning talab etilgan amplitudasini qayta tiklaydigan, qaror qabul qiluvchi qurilma, ya'ni diskriminatorga ega bo'lishi kerak.

Nazorat savollari

1. *Optik signallarni qabul qiluvchi modulda qo'llaniladigan fotoqabulqilgichlarga qanday talablar qo'yiladi?*
2. *Fotoqabulqilgichlar qanday materiallardan tayyorlanadi?*



4.16-rasm. Analog (a) va raqamli (b) signallarni qabul qiluvchi optoelektron modulning tarkibiy funksional elementlari

3. Optik aloqa tizimlarida fotoqabulqilgichning qanday turlaridan foydalaniladi?
4. Fotodiodning volt-ampere xarakteristikalarini oilasini tafsirlang. Uni qanday miqdoriy munosabat bilan ifodalash mumkin?
5. Fotodiodning energetik xarakteristikasini tafsirlang.
6. Fotodiodning spektral xarakteristikasini tafsirlang.
7. Fotodiodning tezkorligi qanday omillar bilan belgilanadi? Ularni tafsirlang. Fotodiodning chegaraviy chastotasiga ta'rif bering va uni aniqlash usulini tafsirlang.
8. Fotodiodning kvant samaradorligi koeffitsiyentiga ta'rif bering.
9. Fotodiodning sezgirlik parametrlariga ta'rif bering. Ushbu parametrlarning qiymati qaysi omillar bilan belgilanadi?
10. Fotodiodning qanday turlari mavjud? Ularga qisqacha tafsir bering.
11. p-i-n fotodiodining tuzilishi va ishlash prinsipini tafsirlang. Bu turdagi fotodiodning afzalliklari nimada?
12. Getero tishli fotodiodning tuzilishi va afzalliklariga tavsif bering.
13. Shottki fotodiodining tuzilishi va afzalliklariga tavsif bering.
14. Ko'chkili fotodiodning tuzilishi va ishlash prinsipini tafsirlang. Bu turdagi fotodiodning afzallik va kamchiliklari nimada?
15. Ko'chkili fotodiodning volt-ampere xarakteristikasini tafsirlang. Uni qanday miqdoriy munosabat bilan ifodalash mumkin?
16. Ko'chkili fotodiodning sezgirligi qanday munosabat bilan aniqlanadi?
17. Fototranzistorning tuzilishi va ishlash prinsipini tushuntiring.
18. Fototranzistorning volt-ampere xarakteristikalarini oilasini tafsirlang.
19. Fototranzistorning sezgirligi qanday munosabat bilan aniqlanadi?
20. Fototranzistorning afzallik va kamchiliklari nimada?
21. p-i-n fotodiodi, ko'chkili fotodiod hamda fototranzistorlarga ularni tolali optik aloqa tizimlarida qo'llash nuqtayi nazaridan qiyosiy tafsir bering.
22. Optik signallarni qabul qiluvchi modulning vazifasi va tuzilishini tushuntiring.

5-bob. OPTIK KUCHAYTIRGICHLAR

5.1. Optik kuchaytirgich va uning turlari

Yuqorida ta'kidlanganidek, uzoq masofaga mo'ljallangan katta uzunlikdagi, chunonchi, magistral va mintaqaviy, shuningdek, tarmoqlangan lokal tolali optik aloqa tizimlarida yorug'lik oqimining tolali uzatishda yutilish va sochilishi tufayli muayyan masofadan so'ng intensivligi susaygan optik signalni kuchaytirish zaruriyati tug'iladi. Bu masala optik kuchaytirgichlar yordamida hal etiladi.

Tolali optik kuchaytirgichlarning bir necha turi mavjud. Ulardan ba'zilar bitta to'lqin uzunligini yoki bir necha to'lqin uzunligi (bir necha kanal)ni kuchaytirish uchun xizmat qilsa, boshqalari bir vaqtning o'zida to'lqin uzunliklarining keng oralig'idagi ko'p sondagi kanallarni kuchaytirish imkonini beradi (5.1-jadval).

5.1-jadval

Optik kuchaytirgichlarning turlari va qo'llanish sohalari

№	Optik kuchaytirgichning turlari	Qo'llanish sohalari
1	Fabri-Pero bo'shlig'ili kuchaytirgich	1 ta kanal (to'lqin uzunligi) ni kuchaytirish uchun foydalanish mumkin
2	Optik toladagi Brillyuen sochilishidan foydalanishga asoslangan kuchaytirgich	1 ta kanal (to'lqin uzunligi) ni kuchaytirish uchun foydalanish mumkin
3	Optik toladagi Raman sochilishidan foydalanishga asoslangan kuchaytirgich	Bir necha kanal (to'lqin uzunligi) ni kuchaytirish uchun foydalanish mumkin
4	Aralashmali optik tola asosidagi kuchaytirgich	Bir vaqtning o'zida to'lqin uzunliklarning keng oralig'ida ko'p sondagi kanallarni kuchaytirish uchun foydalanish mumkin
5	Yarimo'tkazgichli optik kuchaytirgich	Bir vaqtning o'zida to'lqin uzunliklarning keng oralig'ida ko'p sondagi kanallarni kuchaytirish uchun foydalanish mumkin

5.2. Aralashma tolali optik kuchaytirgichlar, ularning tuzilishi, ish mexanizmi, xarakteristika va parametrlari

Bu turdagi optik kuchaytirgichlarda ularning ish xususiyatlarini belgilovchi 3.3.1-bandda yuqorida ko'rib o'tilgan majburiy nurlanish va energetik sathlarining teskari egallanganligi jarayonlari kvarts shishasidan tayyorlangan optik tolani erbiy, prazodiniy, tuliy kabi noyob yer elementlari atomlari bilan legirlash (kiritish) yo'li bilan hosil qilinadi.

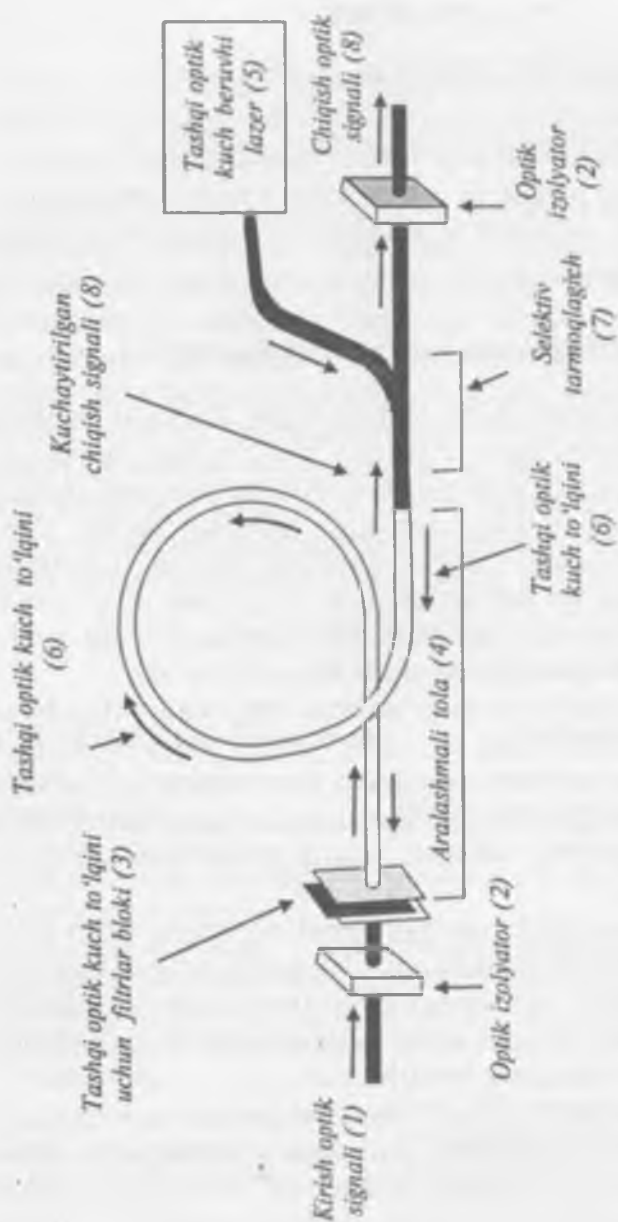
Aralashmali tolali optik kuchaytirgichning tuzilishi

5.1-rasmda aralashmali optik tola asosidagi kuchaytirgichning sxematik tuzilishi keltirilgan. Kuchsiz kirish optik signali (1) yorug'lik oqimini faqat to'g'ri yo'nalishda o'tkazadigan optik izolator (2) orqali o'tib, signal to'lqin uzunligiga nisbatan shaffof, biroq teskari yo'nalishda tarqalayotgan damlash to'lqin uzunligini o'tkazmaydigan yorug'lik filtrlari majmui (3) ga boradi va noyob yer elementlaridan birining atomlari bilan legirlangan bir necha metr uzunlikdagi tola o'ramlaridan o'tadi.

Tolaning bu bo'lagi qarama-qarshi tomonda joylashgan yarimo'tkazgichli lazerning uzluksiz nurlanishiga (damlash nurlanishiga) duchor qilinadi. Signal to'lqin uzunligiga nisbatan qisqaroq to'lqin uzunligiga ega bo'lgan bunday nurlanish ta'sirida tola tarkibidagi aralashma atomlari (ularning elektronlari) qo'zg'algan holatga o'tadi.

Shunday holatdagi aktiv muhitga signal nurlanishi bilan ta'sir etilsa, elektronlarning qo'zg'algan holatdan asosiy holatga majburiy o'tishlari chog'ida signal to'lqin uzunligiga teng to'lqin uzunlikdagi va u bilan bir xil fazali, quvvati signal nurlanishi quvvatiga nisbatan ancha katta bo'lgan nurlanish hosil bo'ladi.

Kuchaytirilgan signal tanlash xususiyatiga ega tarmoqlagich yordamida tolaning chiqishi (9) tomonga yo'naltiriladi. Optik izolator (10) chiqish tomondan teskari yo'nalishda sochilgan signalning optik kuchaytirgich aktiv muhitiga qaytishini bartaraf qilish uchun xizmat qiladi.



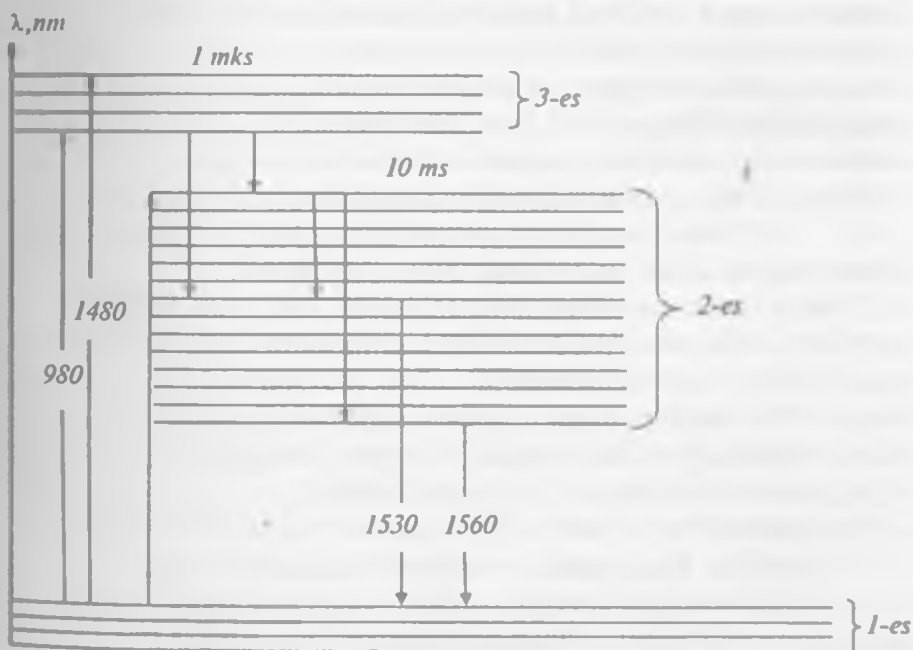
5.1-rasm. Aralashmali optik kuchaytirgichning tuzilishi

Aralashmali tolali optik kuchaytirgichning ish mexanizmi

Aralashmali tolali optik kuchaytirgichlarning ish prinsipini bu turdagi qurilmalar ichida keng tarqalgan erbiy ionlari bilan legirlangan tolali kuchaytirgich misolida batafsil ko'rib chiqamiz. Bu turdagi optik kuchaytirgichlarni horijiy nashrlarda EDFA kuchaytirgichlari deb yuritiladi.

5.2-rasmda kvars tolasi tarkibidagi erbiy ionlari (Er^{+3}) ning energetik sathlari majmuyi keltirilgan. Bu sathlar 1-asosiy barqaror sathning va 2-o'ta barqaror va 3-barqaror qo'zg'algan sathlarning Shtark effekti hisobiga (ya'ni kuchli elektr maydoni ta'siridagi) va atomlarning tebranma harakati tufayli ajralishi natijasida hosil bo'ladi.

Energetik diagrammada elektronlarning qo'zg'algan energetik sathlardagi o'rtacha yashash vaqti ham ko'rsatilgan.



5.2-rasm. Kvars tolasi tarkibidagi erbiy ionlari
(Er^{+3})ning energetik sathlari majmuasi

Shu o'rinda elektronlarning 2-o'ta barqaror va 3-barqaror energetik sathlarning turli sathchalaridagi yashash vaqti turlicha bo'lishini, bu vaqt elektron yadrodan uzoqlashgani sari, boshqacha aytganda, sathchalar energiyasining ortishi bilan kamayib borishini va energetik sathlarning eng yuqori sathchasi uchun eng kichik qiymatga ega bo'lishini ta'kidlash joiz.

Chizmalardan ko'rinadiki, 1-asosiy barqaror va 2-o'ta barqaror sathlar ikki sathli tizimini, 1-asosiy va 2-3-qo'zg'algan energetik sathlar esa uch sathli energetik tizimni hosil qiladi.

Avvaliga ikki energetik sathli damlash tizimidan, so'ngra uch energetik sathli damlash tizimidan foydalanishga asoslangan optik kuchaytirgichlarning ish mexanizmlarini ko'rib chiqaylik.

Faraz qilaylik, erbiy ionili tola to'lqin uzunligi 1480 nm ga teng yorug'lik oqimi bilan yoritilgan bo'lsin. Bu maqsadda mazkur to'lqin uzunligidagi nurlanish manbayi — yarimo'tkazgichli lazerdan foydalanish mumkin. Natijada elektronlarning 1-asosiy sathdan 2-o'ta barqaror sathning yuqori sathchasiga o'tishi sodir bo'ladi. Chizmada ko'rsatilganidek, elektronlarning 2-o'ta barqaror sathdagi o'rtacha yashash vaqti — 10 ms ga teng, yuqorigi sathlarda esa bu vaqt bunga nisbatan juda kam. Shu sababdan elektron ixtiyoriy tarzda ushbu sathning yuqori sathchalaridan quyi sathchalariga o'tadi va 10 ms davomida shu sathchalarda bo'ladi. Elektronlarning yuqori sathchalardan quyi sathchalarga o'tishi nisbatan past chastotali energetik yo'qotishlar bilan yuz beradi.

Yashash vaqti davomida elektronlarning bir qismi 2-o'ta barqaror sathning sathchalaridan tasodifiy tarzda asosiy sathga o'tadi va bunda to'lqin uzunligining 1530...1560 nm oralig'ida, ya'ni ishchi diapazonda spontan nurlanish hosil bo'ladi. Bu nurlanish barcha yo'nalishlarda bir xil ehtimollik bilan yuz bergani uchun tolaning o'zagi bilan uning faqat ozgina qismi yutiladi.

Biz yuqorida energetik o'tishlar mexanizmini bitta atom uchun ko'rib chiqdik. Biroq optik tolada bunday atomlarning soni juda ko'p. Shu sababdan spontan tarzda vujudga kelgan fotonlardan harakat yo'nalishi tola o'zagi o'qining yo'nalishi bilan mos kelgan qismi o'z yo'lida shunday atomlar bilan uchrashib, elektronlarning 2-o'ta barqaror sathining sathchalaridan asosiy sathlariga o'tishlarini vujudga keltiradi. Bunda aynan o'xshash fotonlarning nurlanishi

fazoda barcha yo'nalishlar bo'yicha tekis taqsimlangan bo'lgani uchun tolada uning faqat 1 foizga yaqinagina yutiladi. Kuchaygan spontan nurlanish axborot tashishda ishtirok etmaydi va optik kuchaytirgichlar uchun shovqin vazifasini o'taydi.

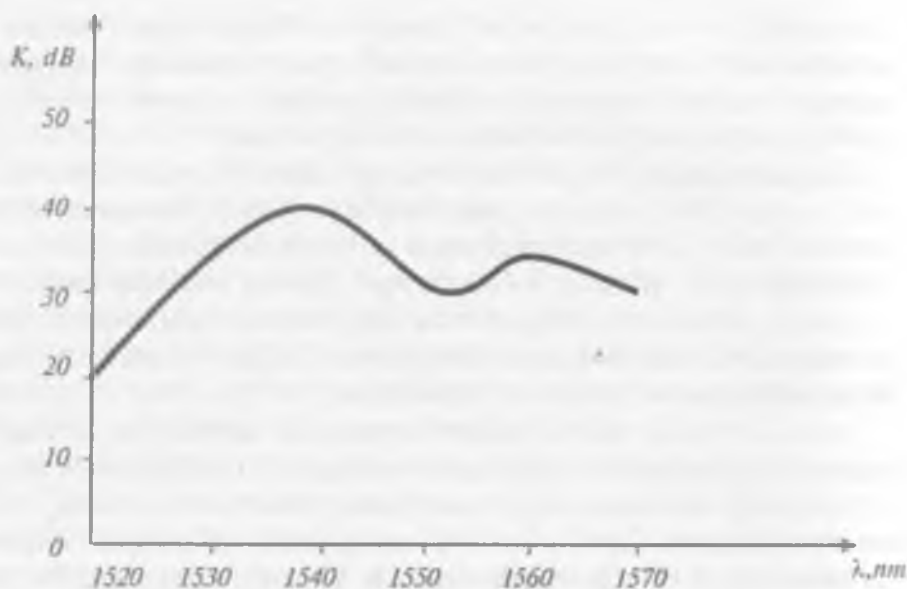
Elektronlarning bir sathdan boshqa sathga — yuqori sathdan quyi sathga yoki aksincha, quyi sathdan yuqori sathga o'tishi statistik jarayon bo'lgani uchun o'ta barqaror sathning barcha sathchalari turli darajada bo'lsa-da, qo'zg'aladi. Natijada spontan nurlanish ancha keng diapazonda ro'y beradi. Chunonchi, biz ko'rayotgan 2-o'ta barqaror sath uchun to'liq uzunliklarining bu diapazoni $\Delta l = 80 \text{ nm}$ ni tashkil qiladi.

Agar $\lambda = 1480 \text{ nm}$ li to'liq uzunligida damlash yo'li bilan olingan shunday teskari egallangan muhitga 1530...1560 nm to'liq uzunligidagi kogerent signal nurlanish bilan ta'sir etilsa, bu nurlanishning har bir fotoni o'z energiyasini yo'qotgani holda elektronning 2-o'ta barqaror sathdan 1-asosiy sathga majburiy o'tishini yuzaga keltiradi. Bunday o'tish natijasida aynan shunday chastota, qutblanish va tarqalish yo'nalishiga ega bo'lgan foton qo'zg'algan atomlar bilan uchrashib, ularning har biri o'z energiyasini yo'qotgani holda bittadan yangi foton hosil qiladi. Shunday qilib, bir xil chastotali, fazali va qutblanishli 4 ta foton hosil bo'ladi. Bu fotonlar yangi fotonlarning vujudga kelishiga sabab bo'ladi. Shu tariqa signal nurlanishining kuchayishi sodir bo'ladi.

Shuni ta'kidlash joizki, turli qo'zg'algan sathlardan asosiy barqaror sathga o'tish ehtimolligi bir xil emas. Bu ehtimollik qo'zg'algan va asosiy barqaror sath o'rtasidagi energetik oralikning ortishi bilan ortib boradi. Shu sababdan nurlanish signalining kuchayishi diapazon bo'yicha notekis tarzda ro'y beradi.

5.3-rasm ikki sathli damlash tizimiga asoslangan erbiy ionili kuchaytirgich uchun kuchaytirish koeffitsiyenti K va nurlanish signali to'liq uzunligi l orasidagi bog'lanishni ifodalovchi egri chiziq keltirilgan va u yuqorida keltirilgan mulohazalarni tasdiqlaydi.

Yuqorida qayd etilgan, 2-o'ta barqaror sath bir qator sathchalardan tarkib topadi. Shu sababdan bu sath 1480 nm to'liq uzunligidagi damlash bilan qo'zg'atilganida kuchaytirgichning chiqishida katta qiymatli spontan nurlanish, ya'ni shovqin kuzatiladi. Spontan nurlanish — shovqin sathini kamaytirish uchun



5.3-rasm. Ikki sathli damlash tizimiga asoslangan erbiyli optik kuchaytirgichning kuchaytirish koeffitsiyenti K va to'liq uzunligi λ orasidagi bog'lanish (damlash quvvati — 40 mW, signal sathi — 1mW)

ikki sathli tizimdan ko'p sathli tizimga o'tish, ya'ni damlash jarayonini qisqaroq to'liq uzunliklarida amalga oshirish maqsadga muvofiqdir.

Erbiyli optik tolalarni umuman olganda 514, 528, 532, 665, 807, 980 va 1480 nm li to'liq uzunliklaridagi nurlanishlar bilan qo'zg'atish mumkin. Biroq uch sathli damlash tizimiga asoslangan zamonaviy optik tolali kuchaytirgichlarda bu maqsadda, asosan, 980 nm to'liq uzunlikdagi nurlanishdan foydalaniladi.

Bu to'liq uzunligiga mos kelgan 3-barqaror sath (5.5-rasmda u 3-ES bilan belgilangan) 2-o'ta barqaror sathga nisbatan o'nlab marta torroq chastotalar spektriga ega.

Uch sathli damlash tizimida o'ta barqaror 2-sathni qo'zg'atish ikki bosqichda amalga oshiriladi: avval 3-ES sath qo'zg'atiladi, natijada bu sathning elektronlar bilan egallanganligi ortadi. Elektronlarning bu sathdagi o'rtacha yashash vaqti taxminan 1 mks ga

teng. Shundan so'ng elektronlar 2-o'ta barqaror sathning yuqori sathchalariga o'tib, ulardan asta-sekin bu sathning boshqa sathchalariga tushadi. Shu tarzda 2-o'ta barqaror sath quyi sathchalarining elektronlar bilan asosiy sathga nisbatan teskari egallanganligiga erishiladi.

Bu esa, o'z navbatida, elektronlarning 1530...1560 nm to'lqin uzunlikdagi signal ta'sirida majburiy o'tishlarning vujudga kelishiga va oxir-oqibat signal nurlanishining kuchayishiga olib keladi.

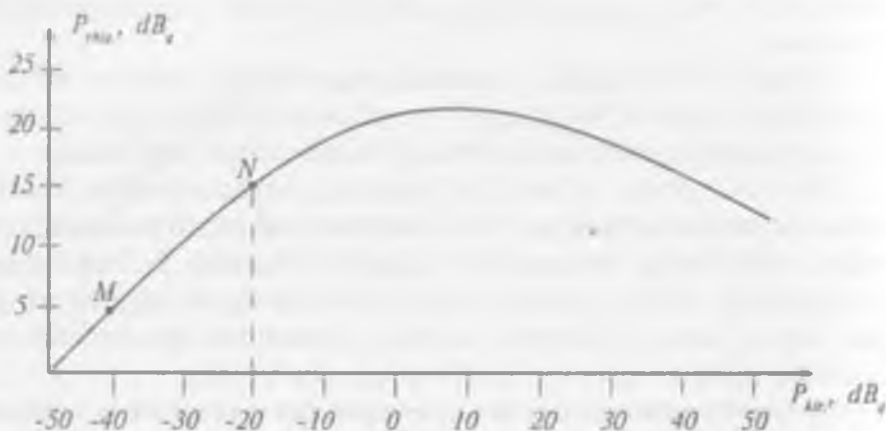
Elektronlarning 3-barqaror sathning sathchalaridan 2-o'ta barqaror sath sathchalariga o'tishi nisbatan past chastotali nurlanish yoki atomlarining tebranishlari (akustik fotonlar) ko'rinishidagi energiyaning ajralib chiqishi, ya'ni shovqinning vujudga kelishiga olib keladi. Biroq 3-barqaror sathning chastotalar spektri kuchaytirgichga nisbatan past sathli shovqinga ega bo'ladi.

Damlash samaradorligi nuqtayi nazaridan qiyosiy tahlil birinchi qarashda uch sathli tizimda teskari egallangan muhitni hosil qilish ko'proq energiya talab qiladi, boshqacha aytganda, bir xil kattalikdagi kuchaytirish koeffitsiyentini olish uchun $l=980$ nm li to'lqin uzunligida damlanadigan kuchaytirgich $l=1480$ nm to'lqin uzunligida ko'proq quvvat talab qiladi, degan xulosaga olib kelishi mumkin. Biroq 2-o'ta barqaror sath asosiy sathga nisbatan yaqin joylashgani, bu sathga tegishli quyi sathchalarning elektronlar bilan egallanishi ehtimolligi juda kattaligini, shu sababdan optik signalning kuchayish jarayonida ularning hech qachon batamom bo'shab qolmasligi e'tiborga olinsa, damlash quvvatining bir xil qiymatlarida uch sathli damlash tizimga asoslangan optik kuchaytirgich ikki sathli tizim asosida ishlaydigan optik kuchaytirgichga nisbatan kattaroq kuchaytirish koeffitsiyentiga ega bo'lishi ma'lum bo'ladi.

Tolali optik kuchaytirgichning xarakteristika va parametrlari

Amplitudaviy xarakteristika, ya'ni chiqish va kirish nurlanish quvvatlari orasidagi bog'lanish tolali optik kuchaytirgichning asosiy xarakteristikasi hisoblanadi. 5.4-rasmda erbiyli optik kuchaytirgichdan dBm larda ifodalangan ana shunday xarakteristikasi tavsiflanadi.

5.4-rasmda ko'rinadiki, kirish signali sathini -40 dan -20 dBm gacha oraliqda o'rnatilganida (egri chiziqlarning $M-N$ bo'lagi) chiqish quvvati chiziqli ravishda ortadi.



5.4-rasm. Aralashmali tolali optik kuchaytirgichning amplitudaviy xarakteristikasi

Kirish quvvatini yanada oshirish egri chiziq tikligining kamayishiga olib keladi va kirish signalining sathi taxminan 0 dBm ga erishganida to'yinish sodir bo'ladi. Kirish quvvatining sathi tartib jihatdan chiqish quvvatiga pasayib, kuchaytirish ko'effitsiyenti kamayadi.

Tolali optik kuchaytirgich amplitudaviy xarakteristikasining bunday ko'rinishini quyidagicha tushuntirish mumkin.

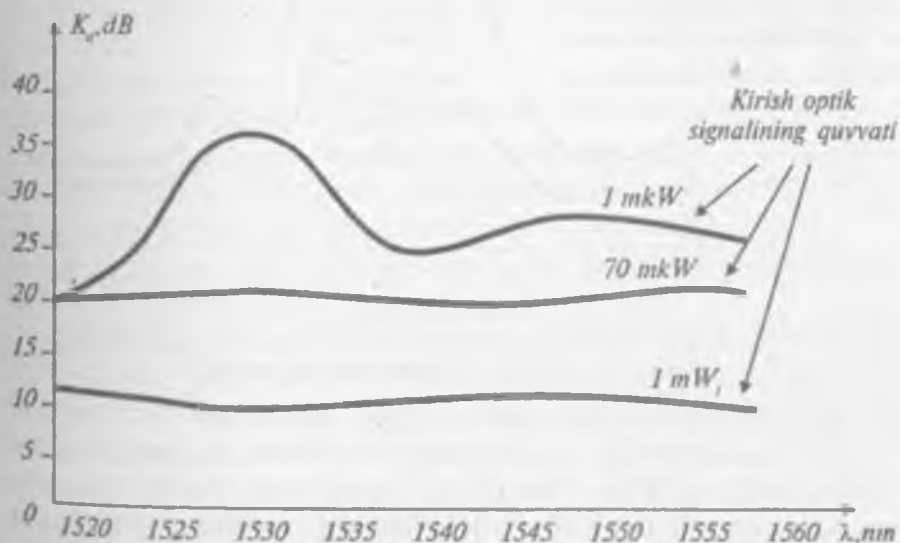
Optik signalning kuchayish jarayonida elektronlar bilan teskari egallangan 2-o'ta barqaror sathning asta-sekin kambag'allashishi ro'y beradi. Kambag'allashish darajasi va tezligi optik signalning quvvati, ya'ni signal nurlanishi tarkibidagi fotonlar soniga bog'liq. Agar fotonlarning soni qo'zg'atilgan o'ta barqaror sathdagi elektronlarning sonidan kichik bo'lsa, bu hol sathning elektronlar bilan egallanganlik darajasiga deyarli ta'sir etmaydi. Chunki signal ta'sirida elektronlarning kamayishi damlash nurlanishi hisobiga to'ldirilib boriladi. Bu holda tolali optik kuchaytirgichning kuchaytirish ko'effitsiyenti eng katta qiymatga erishadi.

Kirish signali quvvati, ya'ni signal tarkibidagi fotonlar sonining ortishi bilan 2-o'ta barqaror sathdagi elektron to'ldirilishi asta-

sekin susayadi va kirish nurlanish signali quvvatining muayyan quvvatidan boshlab to'yinish hodisasi ro'y beradi, 2-o'ta barqaror sath va asosiy sathlarning elektronlar bilan egallanganlik darajasi bir xil bo'lib qoladi.

Natijada kuchaytirish ko'effitsiyentining qiymati 1 ga intiladi. Signal quvvatining yanada ortishi bu ko'effitsiyentining 1 dan ham kamayishiga olib keladi.

Tajribalar erbiy aralashmali tolali optik kuchaytirgichning kuchaytirish ko'effitsiyenti nafaqat kirish optik signalining quvvati 5.5-rasmda aralashmali tolali optik kuchaytirgich kuchaytirish ko'effitsiyentining optik signal to'lqin uzunligiga bog'liqligi ko'rsatilgan (signal quvvatining turli qiymatlari uchun) chizmalardan ko'rinadiki, kirish optik signal quvvatining kichik qiymatlarida kuchaytirish ko'effitsiyentining qiymati katta bo'ladi (35 db gacha), biroq bu qiymat to'lqin uzunligi bo'yicha notekis taqsimlangan bo'ladi. Signal quvvatining ortishi kuchaytirish ko'effitsiyenti qiymatining kamayib ushbu xarakteristikaning tekislik darajasi, shuningdek, uning to'lqin uzunligiga ham bog'liqligini ko'rsatadi.

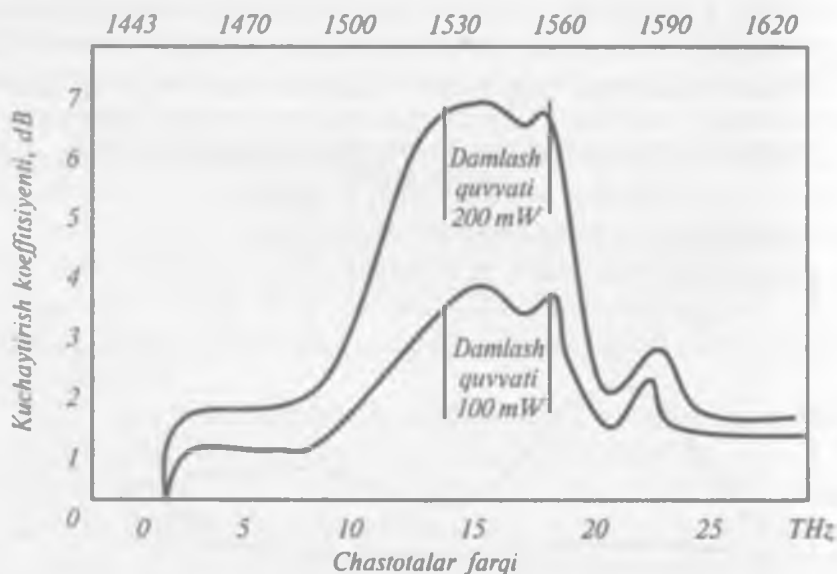


5.5-rasm. Erbiy aralashmali tolali optik kuchaytirgich kuchaytirish ko'effitsiyentining optik signal to'lqin uzunligiga bog'liqligi

5.3. Yorug'likning Raman sochilishiga asoslangan optik kuchaytirgichlar

Bu turdagi optik kuchaytirgichning ish prinsipi katta quvvatli damlovchi yorug'lik to'lqinining optik tolaning nobi'rjinsliklaridagi sochilish chog'ida u bilan bir xil yoki qarama-qarshi yo'nalishda tarqalayotgan kuchsiz signal bilan o'zaro ta'sirlashuvidan foydalanishga asoslangan. Bunday ta'sirlashuv jarayonida signal spektral diapozonning markazi damlovchi to'lqin chastotasi ω_d ga nisbatan signal chastotasi ω_s qadar siljigan bo'ladi:

$$\omega_s = \omega_d - \omega_s \quad (5.1)$$



5.6-rasm. Raman kuchaytirgichning spektri

Bu chastotaviy siljish Raman siljishi deb ataladi.

5.6-rasmda to'lqin uzunligining 1470–1620 nm oralig'i uchun kvars tolali optik kuchaytirgichi kuchaytirish ko'effitsiyenti va kuchsiz signal chastotasi (to'lqin uzunligi) orasidagi bog'lanish, ya'ni kuchaytirgichning amplitudaviy chastotaviy xarakteristikasi tasvirlangan, xarakteristika quvvati 100 va 200 mW ga teng bo'lgan 1440 nm li damlash to'lqin uzunligi uchun keltirilgan.

Rasmdan ko'rinadiki, to'liqin uzunliklarining oralig'i taxminan 30 nm ni tashkil etadi va C diapozonga mos keladi, biroq xarakteristika notekis bo'lgani uchun bunday kuchaytirgichlardan juda zich zichlashtirilgan (DWDM) tizimlarda foydalanish uni tekislash choralarini ko'rinishini talab etadi.

Signal intensivligi I_s damlash intensivligi I_d ga qaraganda kichik bo'lgan hol uchun kuchayish ko'effitsiyenti bu turdagi kuchaytirgichlar uchun quyidagi munosabat bilan aniqlanadi.

$$G_0 = \exp(g \cdot P_{\text{daml}} \cdot \alpha_{\text{eff}} / A_{\text{eff}}). \quad (5.2)$$

Bunda $P_{\text{daml}} = I_{\text{daml}} \cdot A_{\text{eff}}$ damlash quvvati, α_{eff} va A_{eff} mos ravishda optik tolaning effektiv uzunligi va ko'ndalang kesimi, g optik kuchaytirgich amplitudaviy-chastotaviy xarakteristikasining samaradorligi.

Kuchaytirish ko'effitsiyenti damlash quvvatining $P_{\text{daml}} = 1 \text{ W}$ qiymatigacha ortishi bilan chiziqli tarzda ortadi. So'ngra damlash quvvatining bir necha W qiymatlarida to'yinishga chiqadi.

Raman kuchaytirgichlari odatiy quvvatining 1 W ga yaqin qiymatlarida ularning kuchaytirish ko'effitsiyenti 17–30 dB oralig'ida yotadi. Bunda damlash quvvatining ortishi bilan kuchaytirish ko'effitsiyentining kamayishi kuzatiladi. Biroq amaliyotda damlash quvvatining 100–200 mW li pastroq sathlaridan foydalaniladi va bu holda kuchaytirish ko'effitsiyenti 4–8 dB oraliqda yotadi. Raman kuchaytirgichlarining to'yinish quvvati 1 W yarimo'tkazichli optik kuchaytirgichlarnikiga 1 mW nisbatan ancha katta. Raman optik kuchaytirgichda 1300 nm li optik signallarini kuchaytirish uchun 1060 nm li to'liqin uzunlikka ega bo'lgan lazerdan, 1320 yoki 1443 nm li signallarni kuchaytirish uchun esa to'liqin uzunligi 1550 nm ga teng lazerlaridan foydalaniladi.

Bu turdagi kuchaytirgichlar yetarli darajada keng polosali (5–10 THz) bo'lsalar-da, kuchaytirgich ko'effitsiyentining to'liqin uzunligi bo'yicha notekisligi tufayli, ulardan qisqa davomiylikka ega bo'lgan optik impulslerini kuchaytirish uchungina foydalanish mumkin. WDM tizimlarida kuchaytirish chog'ida amplitudaviy-chastotaviy xarakteristikasini tekislash talab etiladi.

Raman kuchaytirgichlaridan tolali optik uzatish tizimlarida foydalanishga bo'lgan e'tibor ularning quyidagi afzalliklari bilan bog'liq:

- ular istalgan to‘lqin uzunligida ishlashi mumkin;
- bu turdagi kuchaytirgichlarda aktiv muhit sifatida tolali yorug‘lik uzatkichining o‘zidan foydalaniladi;
- bu kuchaytirgichlarining kuchaytirish spektri (to‘lqin uzunligi) damlash spektri (to‘lqin uzunligi) bilan belgilanadi. Shu sababdan tegishli to‘lqin uzunlikli damlash manbayi — lazer diodining tanlab olish yo‘li bilan kuchaytirish jarayonini yuqorida ta’kidlanganidek bir necha o‘n nm li oraliqda shakllantirish mumkin.
- Bu turdagi kuchaytirgichlar past sathli shovqinga ega.

O‘zgarishlar samaradorligining yuqori emasligi va optik uzatish tizimlari uchun odatiy bo‘lgan 30 dB kattalikdagi kuchaytirish koefitsiyentiga erishish uchun ancha katta uzluksiz damlash quvvati ($I W$) ning zarrurligi kuchaytiriluvchi kattaliklar orasidagi o‘tish halaqitlarining kattaligi Raman kuchaytirgichlarining kamchiligi hisoblanadi.

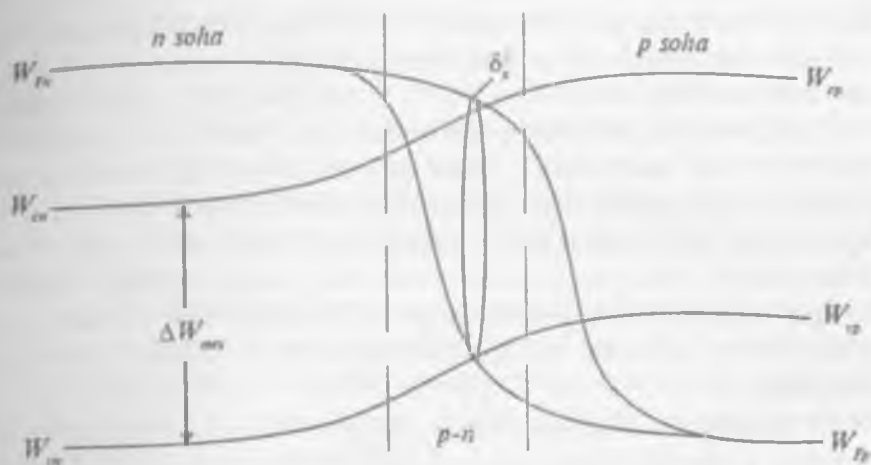
Biroq keyingi vaqtda tarkibiga germaniy aralashmalari kiritilgan maxsus tolali yorug‘lik uzatkichidan foydalanishga asoslangan yuqori samarali Raman kuchaytirgichlari ishlab chiqildi. Shu sababdan bu turdagi kuchaytirgichlar tolali optik uzatish tizimlarida foydalanish nuqtayi nazaridan borgan sari muhim ahamiyat kasb etib bormoqda.

Jumladan, erbiyli tolalikuchaytirgich va Raman kuchaytirgichlarining turli xil kombinatsiyalaridan iborat duragay kuchaytirgichlarni yaratish va ishlab chiqish ustida ishlar olib borilmoqda.

5.4. Yarimo‘tkazgichli optik kuchaytirgichlar, ularning xarakteristika va parametrlari

Tarixan tolali optik kuchaytirgichlardan avval paydo bo‘lgan bu turdagi kuchaytirgichlar yarimo‘tkazgichli lazerlarga o‘xshash tuzilishga ega va ularga o‘xshash prinsipda ishlaydi, ya’ni to‘g‘ri energetik sohali yarimo‘tkazgichdan tayyorlangan, to‘g‘ri yo‘nalishda ulangan $p-n$ o‘tishda energetik sathlarning teskari egallanganligi sharoitida sodir bo‘ladigan majburiy nurlanish hodisasidan foydalanishga asoslangan.

5.7-rasmda to‘g‘ri yo‘nalishda ulangan ana shunday $p-n$ o‘tishning energetik diagrammasi keltirilgan.



5.7-rasm. Aynigan yarimo'tkazgichlardan tayyorlangan p-n o'tishning to'g'ri yo'nalishda ulangan holdagi energetik diagrammasi

Bu holda elektronlarning n sohadan p sohaga, kovaklarning p sohadan n sohaga injeksiyasi ro'y beradi. Injeksiyalangan zaryad tashuvchilar p - n o'tish oralig'ida rekombinatsiyalanib,

$$h\nu \geq \Delta W_{mcs} \quad (5.3)$$

energiyali fotonlarning generatsiyalanishga olib keladi. p - n o'tishning δ_x qalinlikdagi bir necha mkm o'lchamli qalinlikdagi sohasida energetik sathlar bo'yicha teskari egallanganlik yuzaga keladi.

Agar shunday kvant tizimiga $h\nu$ energiyali signal fotonlari tushsa, uning ta'sirida elektronlarning o'tkazuvchanlik energetik sohasidan valent energetik sohasiga o'tishi, ya'ni ularning o'zaro rekombinatsiyasi ro'y beradi. Natijada ko'plab sondagi bir xil bo'lgan fotonlar oqimi hosil bo'ladi.

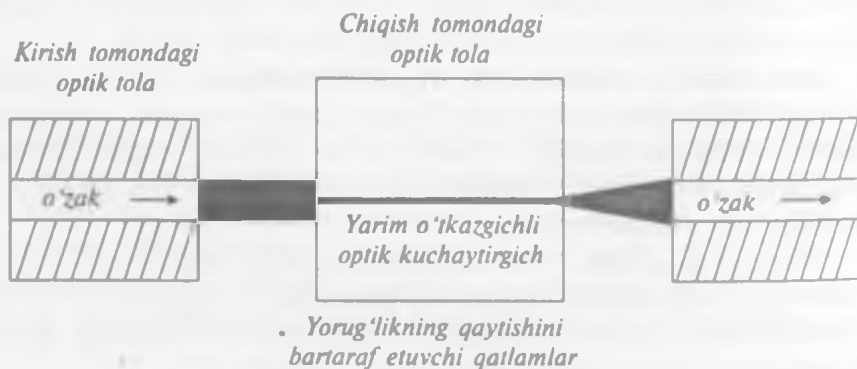
Shunday qilib, kirish optik signalining kuchayishi sodir bo'ladi. Faqat bu holda aktiv muhitning generatsiya rejimiga o'tmaslik choralari ko'riladi. Shu sababdan ularni yarimo'tkazgichli lazerli kuchaytirgichlar deb ham yuritiladi.

Yarimo'tkazgichli optik kuchaytirgich o'lchamlari bir necha mm ni tashkil etgan to'g'ri burchakli shaklga ega GaAsAl kristalli

plastinasi ko‘rinishida tayyorlanadi. Yarimo‘tkazgichli lazerdan farqli ravishda plastinaning yon tomonlari ko‘zguli rezonatorlar o‘rniga sindirish ko‘rsatkichi aktiv muhit (yarimo‘tkazgich) ning sindirish ko‘rsatkichiga yaqin bo‘lgan $\lambda/4$ qalinlikdagi maxsus ko‘p qatlamli qoplama bilan qoplanadi. Xuddi shu maqsadda aktiv muhitning yorug‘lik kiradigan va chiqadigan bu tomonlari optik izolatorlar – yorug‘likni bir tomonlama o‘tkazadigan elementlar bilan ham tutashtiriladi. Shu tariqa aktiv muhitda yuzaga kelishi mumkin bo‘lgan musbat teskari optik bog‘lanish bartaraf etilib, tuzilmaning generatsiya rejimida emas, kuchaytirish rejimida ishlashiga erishiladi.

O‘lchamlari va massasining juda kichikligi, elektr energiyasini bevosita yorug‘lik energiyasiga almashtirib berishga asoslanganligi va shu sababdan iste‘mol quvvatining kamchiligi, optik tolaning barcha shaffoflik «darcha»larida bir xil samaradorlik bilan ishlash xususiyati, boshqa elementlar bilan birga yaxlit (integral) ko‘rinishda tayyorlash imkoniyatining mavjudligi yarimo‘tkazgichli optik kuchaytirgichlarning afzalliklari hisoblanadi.

Quyida ana shunday xususiyatlarga ega bo‘lgan yarimo‘tkazgichli kuchaytirgichlardan birining tavsifi keltirilgan. 1280...1330 nm to‘lqin uzunliklari orasida ishlash uchun mo‘ljallangan bu kuchaytirgich 37x18x15 nm o‘lchamli metall korpusda tayyorlangan. Korpusning yon qirrasidan bir modali optik toladan tayyorlangan diametri 3 mm bo‘lgan bir tolali optik kabel chi-



5.8-rasm. Yarimo‘tkazgichli optik kuchaytirgichning ish prinsipiga doir

qarilgan. Kuchaytirgichning umumiy uzunligi (kabelni mustahkamlovchi moslama bilan birgalikda) 67 mm. Uning massasi 50 g. Eng katta kuchaytirish ko'effitsiyenti (30 dB) erishish uchun zarur damlash toki 300 mA (1,5 V kuchlanish)ga teng. Yarimo'tkazgichli kuchaytirgichning korpusiga optik izolatorlar va yarimsferik ko'rinishdagi linzalardan tashqari o'ta ixcham sovitchik vazifasini o'tovchi Pelte elementi, termorezistor va fotodiodlar ham joylashtirilgan.

Kuchaytirgichning ish rejimi va haroratini barqarorlashtiruvchi elektron sxema 6 V kuchlanishda 350 mA tok, Pelte elementi esa 1,5 V kuchlanishda 1 A ga teng tok iste'mol qiladi. Shunday qilib, yarimo'tkazgichli kuchaytirgich iste'mol qiladigan umumiy elektr quvvati 2,25...5 W dan oshmaydi.

Biroq yarimo'tkazgichli optik kuchaytirgichlarni tolali optik aloqalar tizimida yanada kengroq qo'llash bilan bog'liq ayrim muammolar ham mavjud.

Bu muammolardan biri shundaki, yarimo'tkazgichli optik kuchaytirgichlarda aktiv muhit ko'ndalang yo'nalishda bir necha mikron o'lchamga ega bo'lgani holda, uning qalinligi taxminan bir mikron oralig'ida yotadi va bu yorug'lik uzatuvchi optik tola diametri (bir modali tola uchun bu kattalik — 9 mkm)ga teng. Shu sababdan optik tola bo'yicha kuchaytirgichning kirishiga kelayotgan yorug'lik oqimi qismi samarasiz yo'qoladi. Natijada kuchaytirgichning chiqish quvvati va FIK kamayadi.

Bu nomutanosiblik yuqoridagi misolda ta'kidlanganidek, kuchaytirgichning optik tola bilan o'lchamlar bo'yicha muvofiqlashtiruvchi yarimsferik tuzilishli linzalar yordamida bartaraf etilishi mumkin.

Biroq bu kuchaytirgich tuzilmasining murakkablashuvi va qo'pollashuviga olib keladi.

Yarimo'tkazgichli optik kuchaytirgichlarning boshqa bir kamchiligi kuchaytirish ko'effitsiyentini optik tola bo'ylab tarqalayotgan yorug'likning qutblanish yo'nalishlari bo'yicha biroz o'zgarib, bir-biriga perpendikulyar yo'nalishlarda 4–8 dB ga farq qilishi bilan bog'liq.

Standart bir modali optik tolalarda yorug'lik signali qutblanish darajasini nazorat qilishning iloji yo'qligi sababli, bu hol

yarimo'tkazgichli optik kuchaytirgich kuchaytirish koeffitsiyen-
tining nazorat qilishning imkoni bo'lmagan omilga bog'liq bo'lib
qolishiga olib keladi.

Hozirgi kunda shunga qaramasdan hozirgi kunda yarimo't-
kazgichli optik kuchaytirgichlardan optik signalni detektorlashdan
oldin qo'llaniladigan old kuchaytirgichlari, aloqa liniyasidagi
yo'qotishlarni to'ldiruvchi va regeneratsiyasiz bo'laklarning
uzunligini uzaytiruvchi liniyaviy nurlanish quvvatini oshirish
uchun qo'llaniladigan quvvat kuchaytirgichlari sifatida foyda-
laniladi.

Yarimo'tkazgichli optik kuchaytirgichlarga oid yuqorida
keltirilgan ma'lumotlar bu turdagi kuchaytirgichlar chiqish quvvati
(-30 dB) va shovqin koeffitsiyenti (5,8-6 dB) ni hisobiga
olmaganda o'z texnik ko'rsatkichlari bo'yicha tolali optik ku-
chaytirgichlarga yaqinlashib, ular bilan raqobatdosh bo'lib
borayotganini ko'rsatadi.

Shu sababdan ular zamonaviy tolali aloqa tizimlarida tolali optik
kuchaytirgichlar bilan bir qatorda tobora keng qo'llanish topadi
degan xulosaga kelish mumkin.

5.5. Optik kuchaytirgichlarning qiyosiy tafsivi

Aralashmali tolali optik kuchaytirgichlar, kuchli yorug'lik
oqimining optik tola bo'ylab tarqalayotgan kuchsiz yorug'lik signali
bilan nochiziqli ta'sirlashuviga asoslangan. Raman optik
kuchaytirgichlari hamda yarimo'tkazgichli optik kuchaytirgichlar
ish mexanizmlarning o'ziga xos jihatlarini, ularning xarakteristika
va parametrlarini imkon qadar tizimli tarzda bayon etishga harakat
qildik.

Quyida optik kuchaytirgichlarning ulardan tolali optik aloqa
tizimlarida foydalanish nuqtayi nazaridan qiyosiy tahlili kel-
tiriladi.

Bu tahlil quyidagi jadvallar (5.1-5.2-jadvallar) ko'rinishida
amalga oshiriladi. Ulardan birinchisida optik kuchaytirgichlarning
afzalligi va kamchiliklariga umumiy tafsiv beriladi, ikkinchisida esa
optik kuchaytirgichlar parametrlarning bu afzallik va kamchiliklarini
tasdiqlovchi qiymatlari keltiriladi.

Optik kuchaytirgichlarning qiyosiy tafsivi

Aralashmali optik kuchaytirgichlar	Raman kuchaytirgichlari	Yarimo'tkazgichli optik kuchaytirgichlar
Afzalliklari:		
– aktiv muhit sifatida tolali yorug'lik uzatkichining o'zidan foydalanish imkoniyatining mavjudligi; – tayyorlash texnologiyasining yaxshi o'zlashtirilganligi; – kuchaytirish koeffitsiyentining kattaligi; – shovqin koeffitsiyentining nisbatan kamligi	– istalgan to'lqin uzunligida ishlash imkoniyati; – aktiv muhit sifatida tolali yorug'lik uzatkichining o'zidan foydalanish imkoniyatining mavjudligi; – tegishli to'lqin uzunlikli damlash manbai - lazer diodini tanlab olish yo'li bilan kuchaytirish jarayonini bir necha 10 nm li oraliqda shakllantirish mumkinligi; – past sathli shovqinga ega ekanligi	– o'lchamlari va massasi-ning kichikligi; – elektr energiyasini bevosita yorug'lik energiyasiga aylantirib berishga asoslanganligi; – iste'mol quvvatining kamligi; – optik tolaning barcha shaffoflik «darcha»larida bir xil samaradorlik bilan ishlash xususiyati; – boshqa elementlar, masalan, lazer diodi bilan birgalikda yaxlit (integral) ko'rinishda tayyorlash imkoniyatining mavjudligi
Kamchiliklari:		
– qo'llanish sohasining to'lqin uzunligi diapazonining 1530 – 1570 nm li oraliq bilan cheklanganligi; – kuchaytirish koeffitsiyentining to'lqin uzunligi bo'yicha notekisligi; – o'lchamlarining nisbatan kattaligi; – iste'mol quvvatining nisbatan kattaligi. – f.i.k.ning kamligi	– o'zgarishlar samaradorligining yuqori emasligi; – damlash quvvatining kattaligi (bir necha W); – kanallar orasidagi o'tish halaqitlarining kattaligi	– f.i.k.ning kamligi; – kuchaytirish koeffitsiyentining optik tola bo'ylab tarqalayotgan yorug'likning qutblanish yo'nalishlari bo'yicha biroz o'zgarib, bir-biriga perpendikulyar yo'nalishlarda 4–8 dB ga farq qilishi

Optik kuchaytirgichlar parametrlarining qiyosiy tavsifi

Parametrlarning nomi	Optik kuchaytirgichlarning turi		
	Aralashmali tolali optik kuchaytirgichlar	Raman kuchaytirgichi	Yarimo't-kazgichli kuchaytirgich
	Optik parametr		
Kuchaytirish sohasi	1530–1570	1300–1330, 530–1570	940–960, 1300–1330, 1530–1570
Kuchaytirish koeffitsiyenti	30–45	4–8 ($P_{kir}=100–200$ mWda) 17–30 ($P_{kir}=1$ mWda)	25
Kuchaytirish koeffitsiyentining noteksligi, dB	$\pm 0,3$	$\pm 0,8$	$\pm 0,5$
To'yinish quvvati $P_{chiq to'y}$, W	0,8–0,9	Bir necha W	8 mW
Shovqin koeffitsiyenti nf, dB	3 + 5	2 + 3	5,8 + 6
Damlash lazerining parametrlari			
Damlash to'liqin uzunligi	965	1060 (1300 nm li signalni kuchaytirish uchun)	
Damlash oralig'i (polosasi), mkm	1x100	1320 yoki 1443 (1550 nm li signalni kuchaytirish uchun)	
Elektr parametrlari			
Ishchi kuchlanish, V	5 + 7	~10	1,5(2,25 + 5)
Damlash toki, mA			150–300
Iste'mol quvvati W (20°C da)	12		2 + 255
Umumiy tavsiflari			
O'lchamlari, nm	115x12x165		37x18x15
Og'irligi, kg	0,3		0,05

5.6. Optik kuchaytirgichlarning parametrlarini aniqlash va hisoblash usullari

Optik kuchaytirgichlar quyidagi parametrlar bilan tavsiflanadi.

Kuchaytirish ko'effitsenti. Bu parametr chiqish signalining quvvati kirish signalining quvvatiga nisbatan necha marta katta ekanligini ko'rsatadi.

$$G = P_{\text{chiq}} / P_{\text{kir}} \quad (5.4)$$

bunda P_{chiq} va P_{kir} — mos ravishda kuchaytirgichning kirishidagi va chiqishidagi nurlanish signali quvvati. Logarifmik ko'rinishda bu kattalik

$$g = \lg G \quad (5.5)$$

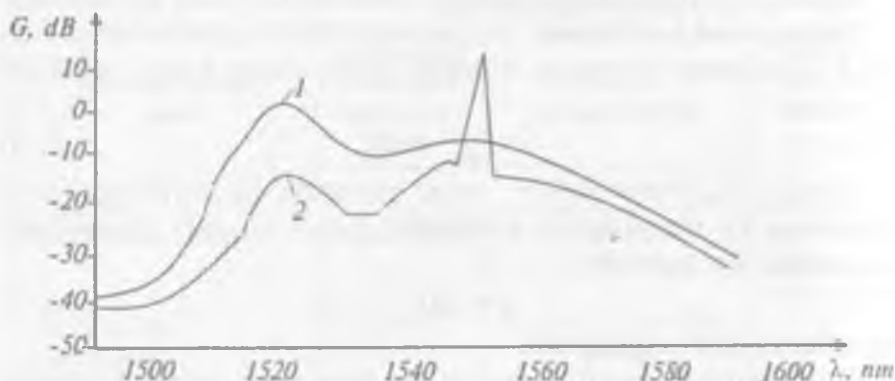
munosabat bilan aniqlanadi.

Kuchaytirish ko'effitsiyentining kattaligi, avval ta'kidlab o'tilganidek kirish signalining quvvatiga bog'liq va signal kirish quvvatining kamayishi bilan o'zining eng katta qiymatiga intiladi.

To'yinish quvvati. Bu parametr optik kuchaytirgichning chiqish quvvatining eng katta qiymatini ko'rsatadi. Tolali optik aloqa tizimlaridagi regeneratsiya punktlari oralig'idagi masofa chiqish quvvatining ana shu qiymati bilan belgilanadi. Katta quvvatli erbiyli tolali kuchaytirgichlarda bu ko'rsatkich 36 dBm (4W) dan ortishi mumkin.

Kuchaygan spontan nurlanish quvvati. Bu parametrning mohiyatini aralashmali tolali kuchaytirgich misolida ko'rib chiqamiz. Kirish signali bo'lmagan holda tolali optik kuchaytirgich fotonlarning spontan nurlanishi manbasi bo'lib xizmat qiladi. Nurlanish spektrining ko'rinishi, biz yuqorida ko'rib o'tganimizdek, erbiy ionlari energetik sathlarining o'zaro joylashuvi va elektronlarning bu sathlar bo'yicha statistik taqsimoti bilan belgilanadi. Spontan tarzda hosil bo'lgan fotonlar tolaning aktiv qismi bo'ylab tarqalib, o'ziga aynan o'xshash — o'shanday to'lqin uzunligi, faza qutblanishi va tarqalish yo'nalishiga ega bo'lgan fotonlar hosil qiladi. Bunday fotonlarning natijaviy spektri *kuchaygan spontan nurlanish* deb ataladi. Bu nurlanishning quvvati 1 Hz chastotaga nisbatan boholanadi va W/Hz larda o'lchanadi. Agar optik kuchaytirgich kirishiga lazerdan signal berilsa, spontan nurlanishning kuchayishiga olib keladigan energetik o'tishlarning bir qismi ana shu signal

ta'sirida yuz beradi va uning kuchayishiga olib keladi. Shunday qilib, nafaqat foydali signalning kuchayishi, shuningdek, spontan nurlanishning kuchsizlanishi ham sodir bo'ladi (5.9-rasm).



5.9-rasm. Totali optik kuchaytirgichning chiqish nurlanish spektri:

1 — kirish signali mavjud bo'lmagan hol;

2 — kirish signali mavjud bo'lgan hol

Kuchaytirilgan spontan nurlanishning quvvati va optik kuchaytirgichning kuchaytirish koeffitsiyenti o'rtasidagi munosabat quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$P_{\text{kuch.spon.nurl}} = h\nu n_{\text{sp}} (G-1) / \eta, \quad (5.6)$$

bunda n_{sp} — spontan emissiya koeffitsiyenti, η — nurlanishning kvant samaradorligi (bu kattalik energetik o'tishlar chog'ida har bir o'tish tufayli hosil bo'ladigan fotonlarning o'rtacha sonini ko'rsatadi).

Shovqin omili. Bu kattalik quyidagi nisbat bilan aniqlanadi:

$$NF = (P_{\text{s.kir}} / P_{\text{sh.kir}}) / (P_{\text{s.chiq}} / P_{\text{sh.chiq}}) \quad (5.7)$$

Shuni ta'kidlash joizki, kirishdagi shovqin quvvati kvant jihatidan cheklangan minimal kattalik bo'lib, uning qiymati vakuumning nolinchii fluktuatsiyalari bilan belgilanadi:

$$P_{\text{sh.kir}} = h\nu\Delta\nu. \quad (5.8)$$

Chiqishdagi shovqin quvvati kuchaygan spontan nurlanish quvvatidan va kuchaytirgich orqali o'zgarishsiz o'tgan vakuumning nolinchii fluktuatsiyalari quvvatidan tarkib topadi:

$$P_{sh.chiq} = P_{kuch.spon.nurl} + h\nu\Delta\nu. \quad (5.9)$$

Agar $P_{chiq}/P_{s.kir} = G$ ekanligi e'tiborga olinsa, shovqin omilini kuchaytirish koeffitsiyenti va kuchaygan spontan nurlanish quvvati orqali quyidagicha ifodalash mumkin:

$$NF = (1 + P_{kuch.spon.nurl}/h\nu\Delta\nu)/G. \quad (5.10)$$

Optik kuchaytirgichlarni tavsiflash chog'ida shovqin omili ko'pchilik hollarda dB larda ifodalanadi:

$$nf = 10 \lg NF. \quad (5.11)$$

Bu kattalikning odatiy qiymati aralashmali tolali optik kuchaytirgichlar uchun taxminan 5,5 dB ni tashkil etadi.

Shovqin omili 1 ga (0 dB ga) qanchalik yaqin bo'lsa, kuchaytirgich shunchalik kichik qo'shimcha shovqin kiritadi. Shu bilan birga bir necha kuchaytirgichdan foydalanilganda shovqin omili ortadi. 1 G va 2 G kuchaytirish koeffitsiyentlariga hamda NF_1 va NF_2 shovqin omillariga ega bo'lgan ikki optik kuchaytirgichning shovqin omilini topaylik. Ikki kuchaytirgichli kaskad chiqishidagi shovqin quvvatini quyidagicha ifodalash mumkin:

$$P_{sh.chiq} = h\nu\Delta\nu [NF_1 G_1 G_2 + (NF_2 - 1) G_2], \quad (5.12)$$

bunda vakuumning kuchaytirgichlar zanjirining chiqishida hosil qiladigan kvant shovqini hisobga olingan.

Chiqish signalining quvvati

$$P_{s.chiq} = G_1 G_2 P_{s.kir}. \quad (5.13)$$

Bundan to'liq shovqin omili uchun quyidagi munosabatga kelamiz:

$$NF = NF_1 + (NF_2 - 1)/G_1. \quad (5.14)$$

Demak, kam shovqinli optik kuchaytirgichlar kaskadini olish uchun bu holda ham elektron kuchaytirgichlar kaskadidagiga o'xshash tarzda birinchi kaskadda kam shovqinli kuchaytirgichdan, ikkinchi kaskadda esa katta quvvatli shovqinli kuchaytirgichdan foydalanish maqsadga muvofiqdir.

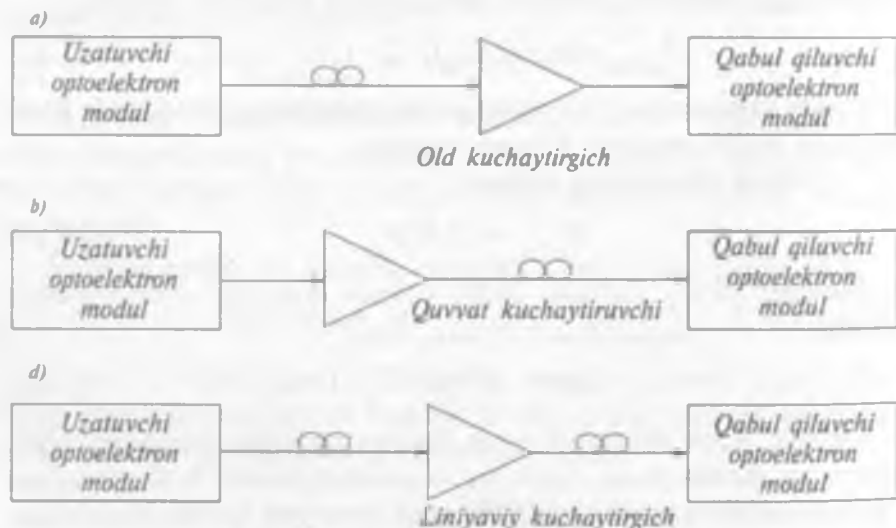
5.7. Optik kuchaytirgichlarni qo'llash usullari

Qo'llash usuliga ko'ra optik kuchaytirgichlari quyidagi guruhlarga ajratiladi:

- oldindan keladigan kuchaytirgichlar (old kuchaytirgichlar);
- quvvat kuchaytirgichlari;
- liniyaga qo'llashda mo'ljallangan kuchaytirgichlar (liniyaviy kuchaytirgichlar).

Old kuchaytirgich bevosita regenerator fotoqabul qilgichi oldida joylashtiriladi va u optoelektron qabul qilgich modulidan kuchaytirish elektron kaskadi chiqishidagi $P_{\text{sign}}/P_{\text{shovqin}}$ kattaligi qiymatini oshirishga ko'maklashadi (5.10-a rasm). Old kuchaytirgichlari katta kuchaytirish koeffitsiyenti bilan tavsiflanadi. Shovqin koeffitsiyentining 3,5 dB qiymatlarida bu koeffitsiyentining qiymatlari 30...45 dB oralig'ida yotadi.

Quvvat kuchaytirgichlari (ularni busterlar deb ham atashadi) bevosita lazer uzatkichlaridan keyin o'rnatiladi. Ular signal sathini lazer diodi asosida qo'shimcha tarzda kuchaytirish uchun xizmat qiladi. Quvvat kuchaytirgichlardan oldin ham o'rnatilishi mumkin.



5.11-rasm. Optik kuchaytirgichlarning tolali optik uzatish tizimlarida qo'llanish usullari:

old kuchaytirgich (a), liniyaviy kuchaytirgich (d), quvvat kuchaytirgichi (b)

Hozirgi vaqtda 10 W va undan ortiq chiqish quvvatiga ega bo'lgan quvvat kuchaytirgichlari mavjud. Biroq tolali optik aloqa tizimlarida chiqish quvvati 1 W atrofida bo'lgan quvvat kuchaytirgichlaridan foydalaniladi. Ularning shovqin koeffitsiyenti 6...7 dB ni tashkil etadi. O'zida yuqorida ko'rib o'tilgan 1 va 2 tur kuchaytirgichlarning xossalarini mujassamlashtirgan optik liniyada qo'llashga mo'ljallangan liniyaviy optik kuchaytirgichlar katta uzunlikdagi aloqa liniyalarida regeneratrlar o'rtasidagi oraliq nuqtaga o'rnatiladi. Ular, shuningdek, signalning optik toladagi so'nishi yoki optik tarmoqlanish natijasida susayishini to'ldirish maqsadida optik tarmoqlagichlar chiqishida joylashtiriladi. Liniyaviy optik kuchaytirgichlar signalni aniq tiklash zaruriyati bo'lmagan hollarda optoelektron qaytargichlar o'rni ham ishlatilishi mumkin.

Nazorat savollari

1. *Optik kuchaytirgich qanday asbob? Undan qaysi maqsadlarda foydalaniladi?*
2. *Optik kuchaytirgichlarning ish mexanizmi qanday fundamental fizik jarayonlardan foydalanishga asoslangan?*
3. *Optik kuchaytirgichlarning qanday turlari mavjud?*
4. *Aralashmali tolali optik kuchaytirgichning tuzilishi va ish mexanizmini tushuntiring.*
5. *Aralashmali tolali optik kuchaytirgichning xarakteristika va parametrlarini tavsiflang.*
6. *Aralashmali tolali optik kuchaytirgichning qanday xillari mavjud? Ularga qiyosiy tavsif bering.*
7. *Yorug'likning Raman sochilishiga asoslangan optik kuchaytirgichning ish mexanizmini tushuntiring. Bu turdagi optik kuchaytirgichning afzallik va kamchiliklari nimada?*
8. *Yarimo'tkazgichli optik kuchaytirgichning tuzilishi va ish mexanizmini tushuntiring. Bu turdagi optik kuchaytirgichning afzallik va kamchiliklari nimada?*
9. *Yarimo'tkazgichli optik kuchaytirgich tolali optik aloqa tizimlarida qanday maqsadlarda qo'llaniladi?*
10. *Aralashmali tolali, Raman sochilishiga asoslangan va yarimo'tkazgichli kuchaytirgichlarning xarakteristika va parametrlariga qiyosiy tavsif bering.*
11. *Optik kuchaytirgichning kuchaytirish koeffitsiyenti, kuchaygan spontan nurlanish quvvati, shovqin omili kabi parametrlari uchun miqdoriy munosabatlar yozing va ularni tavsiflang.*
12. *Optik kuchaytirgichlarni tolali optik aloqa tizimlarida qo'llash usullarini tavsiflang.*

6-bob. OPTIK MODULYATORLAR

6.1. Yorug'lik oqimini ichki va tashqi modulyatsiyalash usullari

Ma'lumki, axborotlar oqimini optik tola bo'ylab uzatish optik eltuvchi – yorug'lik to'liqinining axborot signaliga monand tarzda o'zgartirishni taqozo etadi. Yorug'lik nurlanishning bir yoki bir necha parametrlarini elektr (tok yoki kuchlanish), tovush, mexanik yoki optik signal ta'sirida vaqt yoki fazo bo'yicha berilgan qonuniyatga ko'ra o'zgartirishdan iborat mazkur jarayonni optik nurlanishni modulyatsiyalash jarayoni deb ataladi.

Yorug'lik nurlanishini soddalik uchun yassi monoxramatik to'liqin deb faraz qilinsa, uning vaqt va fazo bo'yicha tarqalishi fizik optikadan yaxshi ma'lum bo'lgan quyidagi tenglama orqali ifodalanadi:

$$E(x, t) = E_m \cos[2\pi(\nu t - \nu n / C_0 x + \varphi_0)]. \quad * \quad (6.1)$$

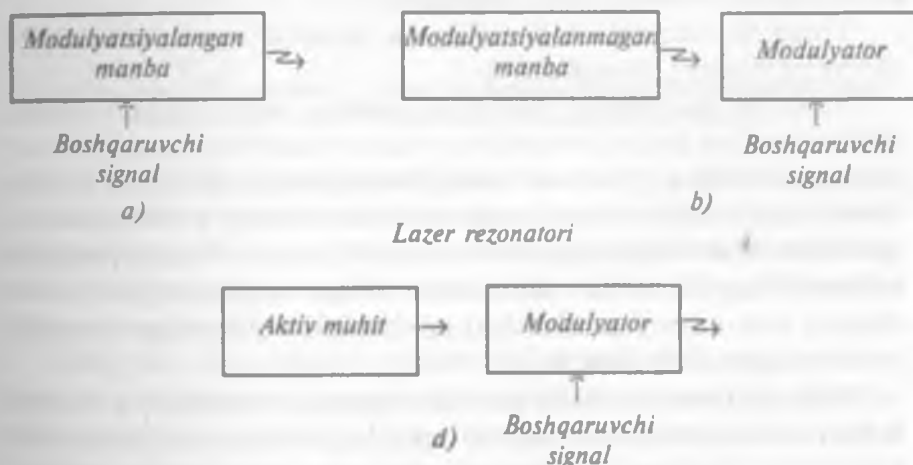
Bu tenglamadan ko'rinadiki, optik eltuvchini axborot signaliga mos ravishda modulyatsiyalash jarayonini yorug'lik to'liqinining amplitudasi, chastotasi, fazasi va qutblanish vektorining yo'nalishini o'zgartirish orqali amalga oshirish mumkin. Optik signal tola bo'ylab tarqalib, so'ngra fotoqabulqilgichga tushadi. Zamonaviy fotoqabulqilgichlar yorug'lik nurlanishini faqat intensivlik bo'yicha qayd etadi. Shu sababdan intensivlik bo'yicha modulyatsiyalash jarayonidan eng keng foydalaniladi. Boshqa turdagi modulyatsiyalash jarayonlaridan foydalanilganida, dastlab u yoki bu usulda modulyatsiyalangan nurlanishni intensivlik bo'yicha modulyatsiyalangan signalga o'zgartirish talab etiladi.

* bunda E – yorug'lik to'liqini elektr maydonining kuchlanganligi; E_m – mazkur elektr maydon kuchlanganligining amplitudasi, ν – tebranishlar chastotasi, t – vaqt, n – muhitning sindirish ko'rsatgichi, C_0 – yorug'likning vakuumdagi tezligi, x – nurlanishnig tarqalish yo'nalishi bo'yicha koordinata, φ_0 – tebranishlarning boshlang'ich fazasi.

Modulyatsiyalangan yorug'lik nurlanishini olishning turli xil usullari mavjud.

Ulardan birinchisi to'g'ridan-to'g'ri yoki bevosita modulyatsiya usuli bo'lib, unda yorug'lik manbai — yorug'lik diodi yoki lazer diodi nurlanishining modulyatsiyasiga ulardan oqib o'tadigan injeksiya tokini o'zgartirish yo'li bilan erishiladi (6.1-a rasm).

Tashqi modulyatsiya deb atalgan ikkinchi usulda yorug'lik manbayidan tarqalayotgan o'zgarmas (modulyatsiyalanmagan) yorug'lik oqimi maxsus qurilma — modulyator yordamida modulyatsiyalanadi (6.1-b rasm). Va nihoyat, agar tegishli modulyator bo'lsa, uni lazer rezonatoriga kiritish va shu tarzda ichki modulyatsiyani amalga oshirish mumkin (6.1-d rasm). Bundan ko'rinadiki, ichki modulyatsiya mohiyat e'tibori bilan to'g'ri modulyatsiyaning bir turi hisoblanadi.



6.1-rasm. Yorug'lik nurlanishini to'g'ridan to'g'ri (a), tashqi (b) va ichki (d) modulyatsiyalash usullari

Optik eltuvchini to'g'ridan-to'g'ri modulyatsiyalash usulining ro'yobga chiqarilishi optik aloqa tizimlarida qo'llaniladigan yorug'lik manbalari — yorug'lik diodi va lazer diodining muhim xususiyatlaridan hisoblangan yetarli darajadagi tezkorlik va shu munosabat bilan ularda kechadigan fizik jarayonlarni elektr signali yordamida samarali boshqarish imkoniyatining mavjudligi bilan bog'liq. Bu hol mazkur asboblarning ish jarayonini belgilovchi noasosiy zaryad

tashuvchilar yashash vaqtining kichikligi bilan tushuntiriladi. Chunonchi, hisoblashlarning ko'rsatishicha, ko'p modali lazerlar yordamida 400 Mbit/s tezlikli impuls — kodli modulyatsiyani yetarli darajada osonlik bilan amalga oshirish mumkin.

Bir modali lazer diodlaridan foydalanish esa, uzatish tezligini bir necha gigogerslargacha oshirish imkonini beradi. Hozirgi vaqtda 14 GHz va undan yuqori tezliklarda ishlovchi lazer diodlari mavjud.

Spontan tabiatga ega bo'lgan nomonoxromatik va nokogerent nurlanish manbayi bo'lgan yorug'lik diodlari uchun faqat ularni qo'zg'atish yo'li bilan amalga oshiriladigan intensivlikni to'g'ridan-to'g'ri modulyatsiyalash usulidan foydalanish mumkin. Yorug'lik diodlarida nurlanish quvvati ulardan oqib o'tadigan injeksiya tokining ortishi bilan chiziqli tarzda o'zgaradi va uning qiymati faqat issiqlik effektlari bilan cheklanadi.

Yorug'lik nurlanishini analog va raqamli signallar ta'sirida modulyatsiyalash mumkin.

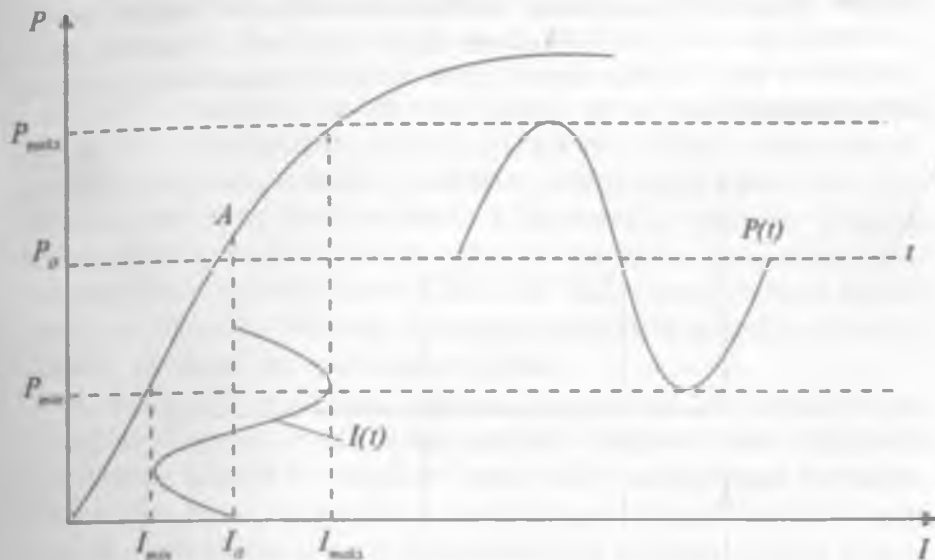
Yorug'lik manbayi — yorug'lik diodi va lazer diodida analog elektr signali ta'sirida intensivlik bo'yicha modulyatsiyalash jarayoni quyidagi tarzda ro'y beradi: yorug'lik manbayiga qo'yilgan analog ko'rinishdagi elektr signali nurlanish quvvatining xuddi shunday qonuniyat bilan o'zgarishiga olib keladi (6.2-rasm). Bunda yorug'lik manbayining P_0 va I_0 parametrlar bilan belgilanadigan ishchi nuqtasi vatt-amper xarakteristikasi chiziqli bo'lagining o'rtasida joylashadigan qilib olinadi.

Modulyatsiya A ishchi nuqtada amalga oshiriladi va bu hol uchun modulyatsiya koeffitsiyenti quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$m = (I_{\text{maks}} - I_{\text{min}}) / (I_{\text{maks}} + I_{\text{min}}) = \sqrt{2} I_d / I_0 = \\ = (P_{\text{maks}} - P_{\text{min}}) / (P_{\text{maks}} + P_{\text{min}}), \quad (6.2)$$

bunda I_d — modulyatsiya signali tokining ta'sir etuvchi qiymati.

Analog signal ta'siridagi modulyatsiya jarayoni vatt-amper xarakteristikasining yuqori darajadagi chiziqliligini (garmonikalar amplitudasining kichikligini) talab etadi. Nochiziqli buzilishlarni kamaytirish uchun modulyatsiya chuqurligini kamaytirish (bu hol qabul chog'idagi signal/shovqin nisbatining pasayishiga olib keladi)



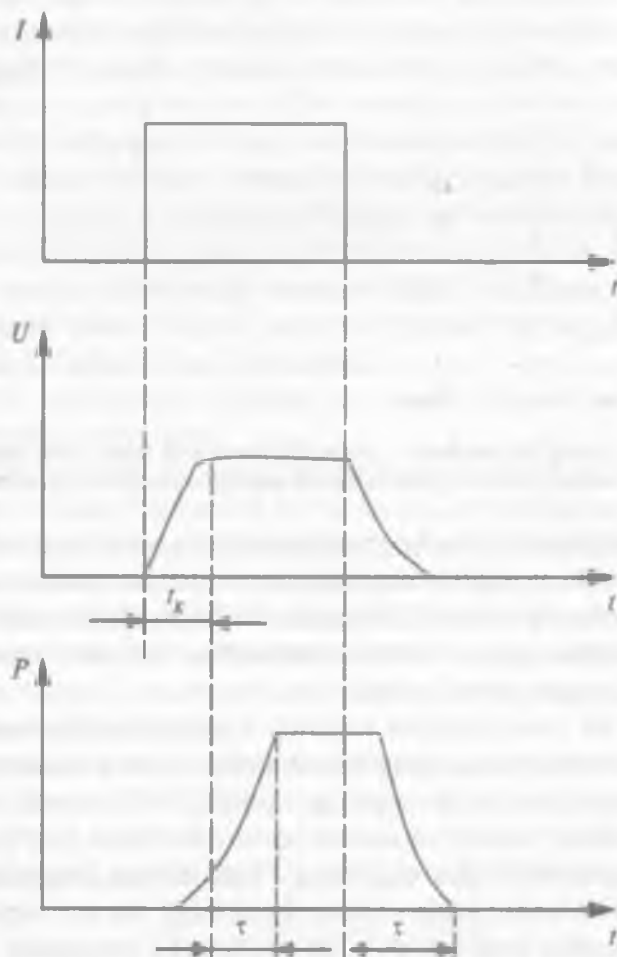
6.2-rasm. Yorug'lik manbai — yorug'lik diodi yoki lazer diodi intensivligining analog elektr signali ta'sirida modulyatsiyalanish jarayoni

yoki bu buzilishlarni kompensatsiyalashni amalga oshirish mumkin. Keyingi holda yorug'lik manbai nurlanish xarakteristikasi nochi-ziqligini kompensatsiyalashning dastlabki buzilishlarni kiritish, faza modulyatsiyasi, yarim dastlabki buzilishlar va teskari manfiy bog'lanish usullaridan foydalaniladi.

Yorug'lik intensivligini raqamli signal ta'sirida modulyatsiyalanganida injeksiya tokining sakrab ortishi va nurlanishning boshlanishi orasida kechikish vujudga keladi. 6.3-rasmda lazer diodi tokining sakrab ortishi va sakrab kamayishi bilan bog'liq uzilish va ulanish jarayonlari aks ettirilgan. Tok sakrab ortganida avval U kuchlanish ortadi, keyin esa t_k kechikish va τ_{on} ortish vaqtlari bilan nurlanish boshlanadi. Tok uzilganda nurlanish intensivligi taxminan vaqt doimiysi τ ga teng bo'lgan eksponensial qonun bo'yicha kamayadi. Kuchlanish esa yanada sekinroq sur'at bilan kamayadi.

Raqamli modulyatsiyalash chog'ida kechikish vaqtini kamaytirish uchun lazer diodiga bo'sag'a tokiga mos kelgan kuchlanishdan kattaroq kuchlanish qo'yish kerak. Bu holda kechikish vaqti faqat

o'sish va kamayish vaqtlari bilan aniqlanadi. Bu vaqtlar impuls davomiyligini eng kamida 2τ qadar kengaytiradi. Shunday qilib, kechikish vaqti τ ning qiymati lazer diodining chastotaviy xossalari belgilaydi.



6.3-rasm. Lazer diodi nurlanishini intensivlik bo'yicha modulyatsiyalash jarayonining vaqt diagrammalari

6.2. Yorug'lik nurlanishini modulyatsiyalashning fizik asoslari

Optik eltuvchini tashqi usul bilan, ya'ni modulyatsiyalovchi qurilmalar yordamida modulyatsiyalash uchun elektrooptik, akustooptik, magnitooptik hodisalar, shuningdek, turli xil foto-effektlardan keng foydalaniladi. Elektrooptik hodisalar modada tashqi elektr maydoni ta'sirida optik anizotropiya (moda xususiyatlarining turli yo'nalishlarda farqlanish xususiyati) vujudga kelishi bilan tavsiflanadi. Natijada modaning dielektrik singdiruvchanligi, demak, sindirish ko'rsatkichi o'zgaradi.

Elektrooptik hodisalar, odatda, moda bo'ylab tarqalayotgan yorug'lik nurining ikkita nurga ajralishi hodisasi bilan birgalikda yuz beradi. Odatiy va noodatiy nurlar deb yuritiladigan bu nurlar turli tezlik bilan tarqaladi va turlicha qutblangan bo'ladi. Agar bunday kristallarda o'zaro perpendikulyar bo'lgan x va y yo'nalishlar ajratilsa, yorug'likning sindirish ko'rsatkichi bu yo'nalishlarning har birida, umuman olganda, turlicha bo'ladi. Kristallning bu yo'nalishlari bo'yicha sindirish ko'rsatkichlarini n_x , n_y orqali belgilaylik. Sindirish ko'rsatkichi har ikkala yo'nalish bo'yicha o'zaro farqlanadigan bunday kristallar ikki o'qli kristallar deb ataladi.

x va u yo'nalishlar bo'yicha optik jihatdan birjinsli, ya'ni $n_x = n_y = n_z$ bo'lgan kristallar esa bir o'qli kristallar deb ataladi. Bir o'qli kristallarda odatiy yorug'lik to'liqini uchun sindirish ko'rsatkichi $n_o = n_x = n_y$, noodatiy to'liqin uchun esa $n_u = n_z$ ga teng bo'ladi.

Bu turdagi kristallarda yorug'lik nurining z o'qi bo'yicha tarqalish chog'ida uning tezligi qutblanish holatiga bog'liq bo'lmaydi. Agar kristalga yorug'lik nurining tarqalish yo'nalishiga ko'ndalang yo'nalishda elektr maydoni qo'yilsa, sindirish ko'rsatkichlari n_x va n_y orasidagi tenglik buziladi va kristall ikki o'qli bo'lib qoladi. Natijada x va y o'qlari bo'yicha qutblangan yorug'lik to'liqlarining muhit bo'yicha tarqalish tezligi ham bir-biridan farq qila boshlaydi. Y o'qi bo'ylab tarqalayotgan odatiy yorug'lik to'liqini uchun sindirish ko'rsatkichi elektr maydon kuchlanganligining ortishi bilan chiziqli tarzda o'zgaradi:

$$n_0(E) = n_0 + r_p E, \quad (6.3)$$

bunda r_p – Pokkels elektrooptik doimiysi; E – elektr maydon kuchlanganligi; n_0 – sindirish ko'rsatkichining maydon bo'lmagan holda, ya'ni $E=0$ bo'lgan holdagi qiymati.

Sindirish ko'rsatkichining elektr maydon kuchlanganligiga proporsional tarzda o'zgarishidan iborat hodisa *chiziqli elektro-optik effekt* yoki *Pokkels effekti* deb yuritiladi.

Shunday qilib, tashqi elektr maydoni ta'sirida boshlang'ich bir o'qli kristall ikki o'qli kristall xususiyatlarini namoyon etadi va sindirish ko'rsatkichining o'zgarishi natijasida u optik jihatdan anizotrop bo'lib qoladi. Yorug'lik to'liqini bunday kristall bo'ylab muayyan masofani o'tganida yorug'lik to'liqining y va x yo'nalishlar bo'yicha tashkil etuvchilari orasida

$$\Delta\varphi = 2\pi n_0^2 r_p EL/\lambda \quad (6.4)$$

ga teng faza farqi vujudga keladi.

Nurlanishning kristall bo'ylab tarqalishi jarayonida turlicha qutblangan signallar orasidagi faza farqi o'zgaradi. Natijada kirish va chiqish signallarining qutblanishi turlicha bo'lib qoladi.

Yorug'lik nurining tarqalish masofasi va bunga mos ravishda hosil bo'lgan faza farqiga qarab, chiqish signalining qutblanishi quyidagi jadvalda ko'rsatilgan tarzda o'zgaradi.

$\Delta\varphi_{os}$	0	$\pi/4$	$\pi/2$	$3\pi/2$	π	$5\pi/4$	$3\pi/2$	$7\pi/4$	2π
Qutblanganlik									

6.4-rasm. Chiqish yorug'lik nurlanishi qutblanganlik holatining uning y va x yo'nalishlari bo'yicha tashkil etuvchil orasidagi faza farqiga bog'liqligi

Yorug'lik nurining tarqalish yo'nalishi z va elektr maydoni kuchlanganligi yo'nalishining o'zaro joylashuviga qarab, bo'ylama ($z \parallel E$) va ko'ndalang ($z \perp E$) Pokkels hodisalari farqlanadi.

Optik eltuvchini signalga mos ravishda modulyatsiyalashda, umuman olganda, Kerr elektrooptik hodisasidan ham foydalanish mumkin. Bu holda sindirish ko'rsatkichi va elektr maydon

kuchlanganligi orasidagi bog'lanish quyidagi munosabat orqali ifodalanadi:

$$n_0(E) = n_0 + r_k E^2, \quad (6.5)$$

bunda r_k — Kerr elektrooptik doimiysi, uning qiymati modaning tabiati, harorat va signalning to'liq uzunligiga bog'liq.

Elektr maydoni qo'yilishidan keyingi va oldingi optik signallar orasida vujudga keladigan faza farqi bu holda quyidagi munosabat bilan ifodalanadi:

$$\Delta \varphi = 2\pi r_k L E^2, \quad (6.6)$$

bunda L — yorug'lik signali tomonidan kristall bo'ylab bosib o'tilgan masofaning uzunligi.

Bu ifodadan ko'rinadiki, Kerr hodisasi (effekti) chog'ida faza siljishi elektr maydoni kuchlanganligining o'zgarishi bilan kvadratik qonun bo'yicha o'zgaradi. Shu sababdan uni **kvadratik elektrooptik** hodisa deb ataladi.

Tovush to'liqlari va optik nurlanishning o'zaro ta'sirlashuviga asoslangan akustooptik hodisalarning mohiyati shundaki, tovush to'liqini optik muhit sirtida sindirish ko'rsatkichini davriy qonuniyat bilan o'zgartiruvchi va difraksiya panjarasi vazifasini o'toychi tuzilma hosil qiladi.

Bu hodisaga asoslangan modulyatsiyalash jarayonida Breg yoki Raman — Natt difraksiyalarining hosil bo'lish shartlaridan foydalaniladi. Chunonchi, birinchi holda bu shart quyidagi munosabat bilan aniqlanadi:

$$2\lambda_{av} \sin \theta = m\lambda, \quad (6.7)$$

bunda λ_{av} — tovush to'liqining uzunligi — panjara doimiysi vazifasini o'tovchi kattalik; m — difraksiya tartibi; λ — yorug'lik nurlanishining to'liq uzunligi; θ — yorug'lik nurining akustooptik moda sirtiga tushish burchagi.

Axborot eltuvchisini modulyatsiyalash jarayoni bu holda amplituda bo'yicha modulyatsiyalangan tovush to'liqini vositasida amalga oshiriladi. Bu to'liqning akustooptik moda bilan ta'sirlashuvi chiqish to'liqini — difraksiyalangan to'liq intensivligi (jadalligi)ni modulyatsiyalaydi.

Magnitooptik hodisa (effekt) — magnit maydoni ta'sirida optik moda parametrlarining o'zgarishi bilan bog'liq hodisadir. Bu hodisani turli qutblanishga ega bo'lgan yorug'lik to'lqinlari tarqalish tezligining farqi bilan tushuntiriladi. Faraz qilaylik, chiziqli tarzda qutblangan monoxromatik yorug'lik to'lqini induksiyasi B ga teng bo'lgan magnit maydoniga joylashtirilgan optik modaga tarqalish yo'nalishi magnit maydoni yo'nalishiga mos holda tushayotgan bo'lsin.

Ma'lumki, chiziqli qutblangan yorug'lik to'lqinining turlicha qutblanishli ikkita to'lqinning yig'indisi deb qarash mumkin. Magnit maydoni ta'sirida bu to'lqinlar uchun sindirish ko'rsatkichi o'zaro farq qilib n_1 , n_2 bo'lib qoladi.

Natijada moda bo'ylab L masofaga tarqalgan bu to'lqinlar orasida quyidagi faza farqi vujudga keladi:

$$\Delta\varphi = \omega L(n_1 - n_2)/c, \quad (6.8)$$

bunda $n_1 - n_2$ magnit induksiyasiga proporsional kattalik.

Moddaga tegishli optik xususiyatlarning o'zgarishiga sabab bo'ladigan ftohodisalar qatoriga fotoo'tkazuvchanlik, fotoxrom va fotokristallik effektlarni ham ko'rsatish mumkin.

Fotoo'tkazuvchanlik hodisasining mohiyati shundaki, yorug'lik oqimi ta'sirida yarimo'tkazgich xossasiga ega bo'lgan modaning elektr o'tkazuvchanligi o'zgaradi (ortadi yoki kamayadi). Bu o'zgarish modaning optik parametrlariga, jumladan, uning sindirish ko'rsatkichiga ta'sir ko'rsatadi.

Bu hol ushbu hodisadan yorug'lik nurlanishini modulyatsiyalash maqsadida foydalanish imkonini beradi.

Fotoxrom effekti maxsus aralashmali noorganik shisha, organik polimerlar kabi modalar rangining qisqa to'lqinlar diapazonidagi ultrabinafsha yoki ko'zga ko'rinuvchi qisqa to'lqinli nurlanish oqimi ta'sirida o'zgarishi bilan sodir bo'ladi. Bu holda modaning dastlabki holatiga qaytarish uchun unga infraqizil diapazonli yorug'lik bilan ta'sir etish yoki uni isitish talab etiladi.

Amorf tuzilishli yarimo'tkazgichlarda kuzatiladigan fotokristallik effekti shunday hodisaki, unda yuqori intensivlikka ega bo'lgan yorug'lik oqimi ta'sirida modaning kristallanish tarzi va shu tariqa sindirish ko'rsatkichining qiymatining o'zgarishi yuz beradi.

6.3. Optik modulyator va uning turlari

Yorug'lik nurlanishini tashqi va ichki modulyatsiyalash jarayonini amalga oshiruvchi qurilmalar *optik modulyatorlar* deb ataladi. Ularning ish mexanizmi optik eltuvchiga ta'sirning 6.1-bandda ko'rib o'tilgan turlaridan biridan foydalanishga asoslangan bo'lishi mumkin. Shunga ko'ra modulyatorlarning quyidagi turlari mavjud:

- optik muhitda sodir bo'ladigan elektrooptik jarayonlardan foydalanishga asoslangan elektrooptik modulyatorlar;
- optik muhitda sodir bo'ladigan akustooptik jarayonlardan foydalanishga asoslangan akustooptik modulyatorlar;
- optik muhitda sodir bo'ladigan magnitooptik jarayonlardan foydalanishga asoslangan magnitooptik modulyatorlar;
- yarimo'tkazgichli tuzilmalarda sodir bo'ladigan elektrooptik jarayonlardan foydalanishga asoslangan yarimo'tkazgichli modulyatorlar.

Optik modulyator raqamli yoki analog signallarni modulyatsiyalashga mo'ljallangan bo'lishi mumkin.

Yuqoridagi ta'rifda qayd etilganidek, optik modulyatorlarning ikki xili – ichki va tashqi modulyatorlar mavjud. Ikkala xil modulyatorlar, aksari ko'p hollarda, optik eltuvchini faza bo'yicha modulyatsiyalab beradi.

Tashqi modulyator taglikda optik to'lqin uzatkich sifatida tayyorlanadi va u bir modali yoki qutblangan optik tolaning kirish va chiqishidagi yorug'lik oqimini axborot signaliga mos tarzda muvofiqlashtirish uchun xizmat qiladi.

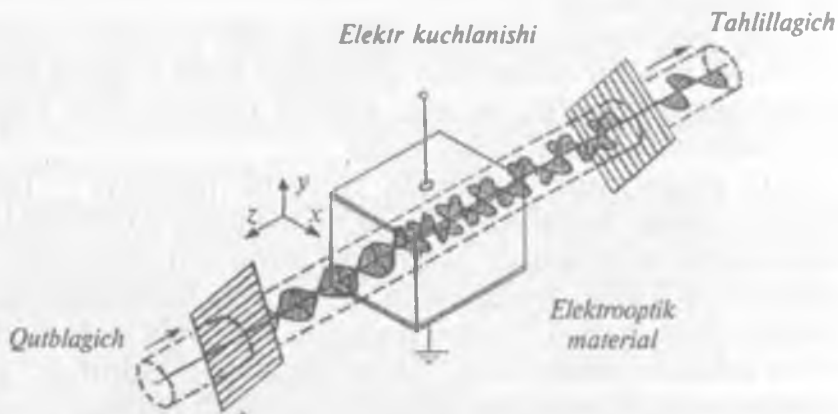
Optik modulyator yordamida yorug'lik manbai – lazer diodining tashqi modulyatsiyasi, ya'ni manbadan tashqaridagi modulyatsiyasi ta'minlanadi. Lazer diodi rezonatori parametrlarini o'zgartirish yo'li bilan amalga oshiriladigan ichki modulyatsiyalash imkoniyati ham mavjud. Yarimo'tkazgichli lazerlarda ichki modulyatsiya jarayoni asbob ishchi elektr rejimini o'zgartirish, gaz lazerlarda esa optik rezonator aslligini o'zgartirish hisobiga amalga oshiriladi. Biroq shuni ta'kidlash joizki, bitta qurilmada generatsiya va modulyatsiya jarayonlarini ro'yobga chiqarish, odatda, yorug'lik manbai parametrlarini yomonlashtiradi. Chunonchi, nurlanish

intensivligini sodda usul bilan samarali boshqarish imkoniyatini beradigan yarimo'tkazgichli lazerlarda ichki modulyatsiya, odatda, generatsiya bo'sag'asining oshishiga, nurlanish moda tarkibining buzilishiga olib keladi.

6.3.1. Elektroptik modulyatorlar

6.5-rasmda elektrooptik modulyatorning tuzilish sxemasi 6.5-rasmda keltirilgan. Bu sxemani Pokkels yacheykasi deb nomlangan kristallni qutblanish tekisligi 90° ga farq qiladigan chiziqli qutblagich va tahlilagich (analizator)lar orasiga joylashtirish orqali shakllantiriladi. Modulyatorning ish prinsipi quyidagicha: Pokkels yacheykasiga kuchlanish qo'yilmagan holda u orqali o'tgan nurning qutblanish tekisligi qo'shimcha tarzda burilmaydi va kirishdagi chiziqli qutblagich yordamida tekislik bo'yicha qutblangan yorug'lik nuri tahlilagich, demak, modulyator chiqishiga o'tmaydi.

Agar Pokkels yacheykasiga qo'yilgan kuchlanish uning eng katta qiymatigacha oshirilsa, yacheyka qutblanish tekisligini o'ngga buradi. Natijada yacheyka chiqishida qutblagich va tahlilagichdagi yorug'lik nurining qutblanish tekisliklari orasidagi burchak amalda nolgacha kamayib, kirish nurining modulyator chiqishidan to'liq o'tishi ta'minlanadi.



6.5-rasm. Chiziqli elektrooptik hodisa asosida ishlaydigan elektrooptik modulyatorning tuzilishi

6.5-rasmdan ko'rinadiki, modulyator ko'ndalang turdagi ($z \perp E$) elektrooptik effekti — Pokkels effekti asosida ishlaydi. Boshqarish kuchlanishi U_{boshq} , ya'ni elektr maydon kuchlanganligi E ni o'zgartirib, chiqish optik signali fazasini kirish signali fazasiga nisbatan siljitishga erishiladi. Modulyatorning chiqishiga joylashtirilgan tahlillagich (analizator) faza o'zgarishlarini nurlanish intensivligining o'zgarishlariga aylantirib beradi.

Modulyator chiqishidagi nurlanish intensivligi, kristalldagi yutish jarayonini hisobga olmaganda, quyidagi munosabat bilan aniqlanadi:

$$I_{\text{chiq.}} = I_{\text{kir.}} \sin^2 (\pi/2)(U_{\text{boshq.}}/U_{\lambda}/2), \quad (6.9)$$

bunda $I_{\text{chiq.}}$ va $I_{\text{kir.}}$ — mos ravishda modulyatorning chiqish va kirishidagi nurlanish intensivligi; $U_{\text{boshq.}}$ — boshqarish kuchlanishi; $U_{\lambda}/2$ — yarimto'liqlik boshqarish kuchlanishi.

Yarimto'liqlik boshqarish kuchlanish modulyatorning eng muhim parametrlaridan biri hisoblanadi. U boshqarish kuchlanishining shunday qiymatiki, unda modulyator o'tkazish koefitsiyentining o'zgarishi uning eng kichik qiymatidan eng katta qiymatigacha (yoki aksincha) oraliqda o'zgaradi. Bunda chiqish va kirish nurlanishi bir-biriga nisbatan yarimto'liqlik uzunligi qadar siljiydi, ya'ni ular orasida $\Delta\varphi = \pi$ ga teng faza siljishi hosil bo'ladi. Ko'rib chiqilayotgan turdagi modulyator uchun yarimto'liqlik kuchlanish

$$U_{\lambda/2} = (\lambda/2 n_0^3 r_p) (d/L) \quad (6.10)$$

munosabat bilan aniqlanadi. Bunda n_0 — elektrooptik materialning $E = 0$ dagi sindirish ko'rsatkichi, d va L — mos ravishda elektrooptik plastinaning kengligi va uzunligi, r_p — Pokkels elektrooptik doimiysi.

$U_{\lambda/2}$ parametrining qiymati turli elektrooptik modulyatorlar uchun bir necha yuz voltdan bir necha kilovoltgacha oraliqda yotadi. Boshqarish kuchlanishining bunday katta qiymatlari elektrooptik modulyatorlarning muhim kamchiligi hisoblanadi.

6.6-rasmda modulyatorning chiqishidagi nurlanish intensivligi va boshqarish kuchlanishi orasidagi bog'lanish — modulyatorning boshqarish xarakteristikasi ko'rsatilgan. 6.6-a rasmda elektrodarga

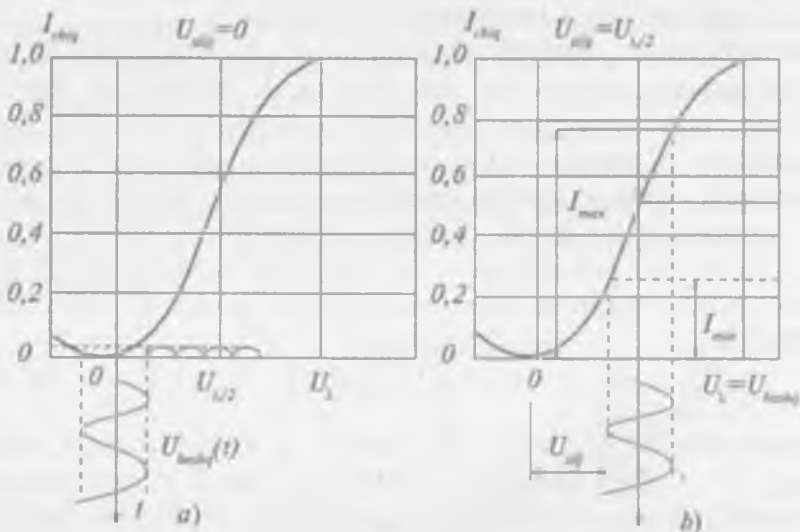
qo'yilgan kuchlanishning o'zgarmas tashkil etuvchisi nolga teng bo'lgan hol uchun modulyatsiya jarayoni aks ettirilgan. Bu holda modulyator past samaradorlik bilan ishlaydi modulyatorning chiqishidagi nurlanish intensivligi boshqarish kuchlanishining katta o'zgarishlarida ham amalda o'zgarishsiz qoladi.

Modulator ishining samaradorligi **modulyatsiya chuqurligi** deb atalgan kattalik bilan tavsiflanadi:

$$m = I_{\max} / I_{\min} \quad (6.11)$$

$U_{\text{silj}} = 0$ da samaradorlik m nolga intiladi (6.6-a rasm).

Agar modulyatorga o'zgarmas kuchlanish berilsa, ($U_{\text{silj}} = U_{\lambda/2}$) (6.6-b rasm) kuchlanish o'zgaruvchan tashkil etuvchisining amplitudasi va modulyatsiya chuqurligi muhim tarzda ortadi. Modulator boshqarish xarakteristikasining tik bo'lagida ishlaydi.



6.6-rasm. Elektrooptik modulyatorning boshqarish xarakteristikalari:

- a — siljitish kuchlanishi qo'yilmagan hol;
- b — siljitish kuchlanishi qo'yilgan hol

Modulyatorning sifati ba'zi hollarda asllik deb nomlangan kattalik bilan ham tavsiflanadi. Bu parametr modulyator chegaraviy chastotasining boshqarish quvvatiga nisbati bilan aniqlanadi:

$$D_m = f_{\text{cheg}} / P_{\text{boshq}} \quad (6.12)$$

Elektrooptik modulyatorlar uchun asllikning qiymati 10 MHz/mW ga yaqin.

Tezkorlik darajasi optik modulyatorlarning eng muhim parametrlaridan biri hisoblanadi.

Elektrooptik modulyatorlar yordamida modulyatsiyalovchi signal chastotasining 10 GHz va undan yuqori, modulyatsiya chuqurligining esa 99,9 foizgacha qiymatlariga erishish mumkin. Bu turdagi modulyatorlardan, asosan, diskret optika elementlari sifatida foydalaniladi. Integral optikada ko'pincha boshqariluvchi yo'nalgan tarmoqlagichlar va Max-Tsender interferometri sxemasidan foydalanishga asoslangan elektrooptik modulyatorlar qo'llaniladi.

Bunday modulyator Max-Tsender interferometri sxemasiga muvofiq ikkita bir xil yelkalardan tarkib topadi (6.7-rasm).



6.7-rasm. Max-Tsender interferometri turidagi elektrooptik modulyatorning tuzilish sxemasi.

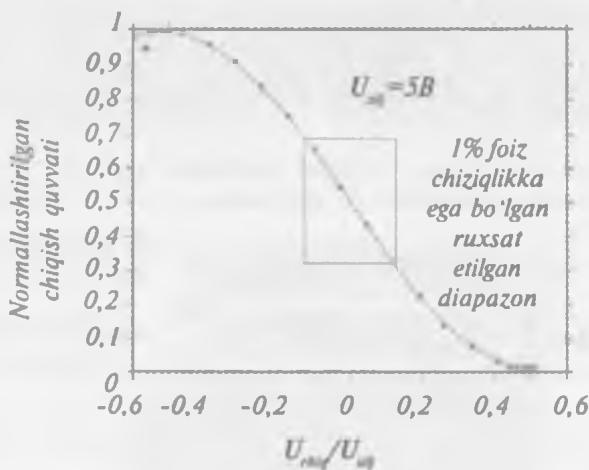
Ular bo'yicha tarqalayotgan modalar ta'sirlashuvchi modalar fazosidagi elektrodlarga qo'yilgan kuchlanish U ning kattaligi va to'lqin uzatkichning uzunligi L ga qarab, quyidagi faza farqiga ega bo'ladi:

$$\Delta\varphi = K_m \Delta n_m L, \quad (6.13)$$

bunda $\Delta n_m = n_m^3 r E/2$ — moda effektiv sindirish ko'rsatkichi o'zgarishining amplitudasi n_m ga proporsional kattalik, r — ishchi optik muhitning elektrooptik koeffitsiyenti, K_m — modaning to'lqin vektori.

Max-Tsender interferometri chiqishida ungacha yetib kelgan modalarning interferensiyasi tufayli kirish yorug'lik oqimining modulyatsiyasi ro'y beradi (6.8-rasm).

Max-Tsender interferometrining uzatish funksiyasi sinusoida ko'rinishiga ega bo'lib, modulyatsiya jarayonini boshqarish uchun undan yarimto'liqlarning biri olinadi. Buning uchun boshqa elektrodlar tizimiga muayyan qiymatli siljitish kuchlanishi beriladi. Bunday kuchlanish qiymati uzatish funksiyasining chiziqli yoki kvadratik sohalarida ishlanadigan qilib tanlab olinadi.



6.8-rasm. Max-Tsender interferometri turidagi elektrooptik modulyatorning uzatish funksiyasi

Quyidagi sxemada ikki turdagi elektrodlar — elektr maydonini modulyasiyalovchi yuguruvchi to'liq va bunday modulyator uzatish funksiyasining ishchi nuqtasini siljituvchi statik elektr maydoni hosil qiluvchi elektrodlar ko'rsatilgan. Bunday ta'sirlashuv modulyator chiqishida signal modulyatsiya chuqurligini 20 db gacha oshirib beruvchi susayish koeffitsiyentiga erishish imkonini beradi. Bunda modulyasiyalovchi kuchlanish optik eltuvchi harakatini bitta yelkada sekinlatadigan, boshqa yelkada esa tezlashtiradigan qilib qo'yiladi.

Bu hol kuchlanish amplitudasi U_m ni integral sxema uchun yaroqli sathgacha kamaytirish imkonini beradi.

Modulyator tuzilishini maqbullashtirish va integral optik texnologiyaning yutuqlari bu turdagi modulyatorning turli xil qurilmalarda va eng avvalo SDH va WDM tizimlarida keng qo'llash imkonini beradi.

6.3.2. Akustooptik modulyatorlar

Tovush to'liqini optik muhitda sindirish ko'rsatkichini davriy qonuniyat bilan o'zgartiruvchi va difraksiya panjarasi vazifasini o'tovchi tuzilma hosil qiladi.

Bu hodisaga asoslangan optik modulyatorlarda Breg yoki Raman – Nat difraksiyalarining hosil bo'lish shartlaridan foydalaniladi. Chunonchi, birinchi holda bu shart quyidagi munosabat bilan aniqlanadi:

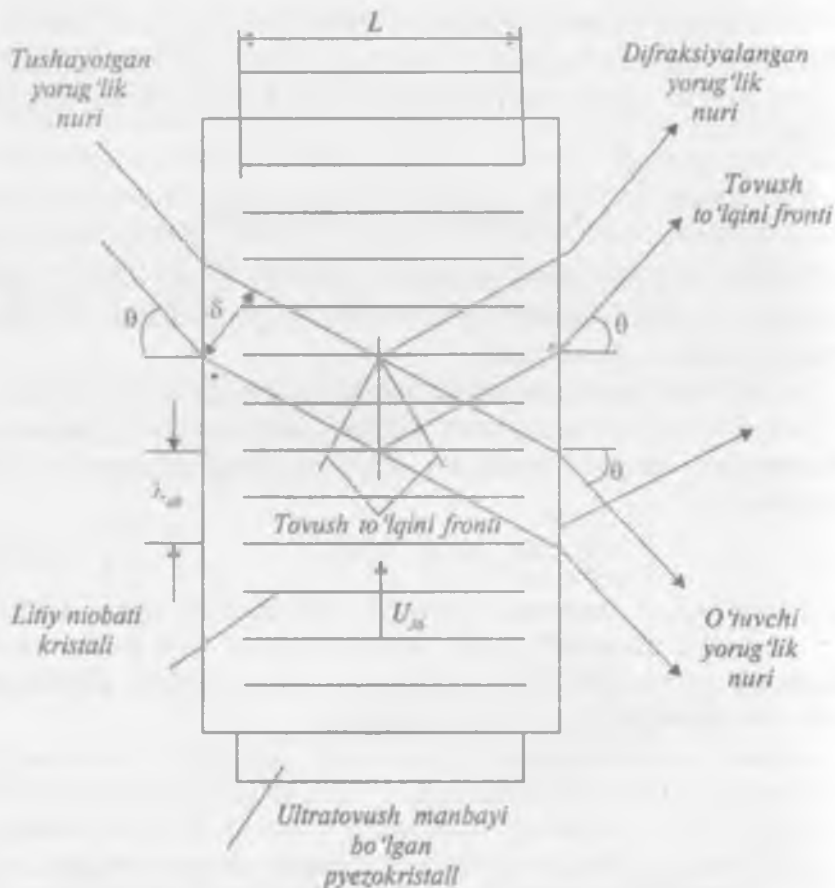
$$2\lambda_{ab} \sin \theta = m\lambda, \quad (6.14)$$

bunda λ_{ab} – panjara doimiysi vazifasini o'tovchi kattalik; θ – yorug'lik nurining davriy panjarali kristall yon sirtiga tushish burchagi; m – qaytarish tartibi; λ – yorug'likning akustooptik yacheyka materialidagi to'liqin uzunligi.

Axborot eltuvchisini modulyatsiyalash jarayoni bu holda amplituda bo'yicha modulyatsiyalangan tovush to'liqini vositasida amalga oshiriladi. Bu to'liqinning akustooptik material bilan ta'sirlashuvi, modulyatorning chiqish to'liqini – difraksiyalangan to'liqin intensivligi (jadalligi)ni modulyatsiyalaydi. Moduladorning tezkorligi tovush signalining yorug'lik tutami ko'ndalang kesimidan o'tish vaqti bilan aniqlanadi va 10^{-7} s tartibga ega.

Akustooptik modulyatorning ish prinsipi ba'zi optik jihatdan shaffof materiallarda (masalan, litiy niobatida) sindirish ko'rsatkichining bosimga bog'liqligidan foydalanishga asoslangan. Bu bosim modulyatorning asosiy elementi vazifasini o'tovchi, akustooptik yacheyka yaratish uchun ishlatiladigan akustooptik material sirtiga yopishtirilgan pezokristall tomonidan generatsiyalangan akustik to'liqinlar tufayli vujudga keladi (6.9-rasm).

Akustooptik modulyatorlar yetarli darajada oddiy va ishonchli qurilmalardan hisoblanadi. Shunga qaramasdan ular muayyan kamchiliklarga ham ega. Bu kamchiliklar quyidagilardan iborat:



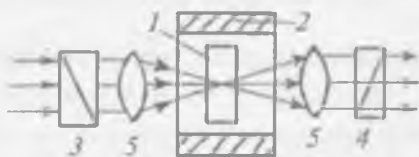
6.9-rasm. Yorug'lik nurining akustooptik modulyatordan o'tish sxemasi

- uzatish funksiyasining nochiziqligi;
- modulyatsiya chuqurligining modulyatsiya chastotasining ortishi bilan kamayishi. Bu hol ulardan yuqori tezlikli modulyatsiyalash sxemalarida foydalanishni chegaralaydi;
- modulyatsiyalangan lazer nurlanishi chastotasining modulyatsiyalovchi akustik chastota kattaligi qadar siljishi;
- difraksiyalangan va tushuvchi yorug'lik tutamlari intensivliklarining nisbati bilan aniqlanadigan difraksiya samaradorligining unchalik katta emasligi (bu samaradorlikni akustik signal quvvatini oshirish hisobiga ta'minlash mumkin).

6.3.3. Magnitooptik modulyatorlar

Modulyatorlarni tayyorlash uchun magnitooptik modalar, masalan, ferritgranat yoki uch bromli xromlardan ham foydalanish mumkin. Magnitooptik modulyatorlarning ish prinsipi Faradey effektidan foydalanishga asoslangan.

Bu effektning mohiyati 6.1-§ da qayd etilganidek, yorug'lik nurlanishi magnit maydoniga joylashtirilgan aktiv muhit bo'yicha tarqalishi jarayonida uning qutblanish tekisligi buriladi. Tahlillagich qutblanish yo'nalishi o'zgarishlarining amplituda o'zgarishlariga aylanishini ta'minlaydi (6.10-rasm). Biroq magnitooptik modulyatorlarning tezkorligi elektrooptik modulyatorlarga nisbatan ancha past. Ularning chegaraviy chastotasi 10^4 GHz dan oshmaydi. Bundan tashqari, magnitooptik modulyatorlarni boshqarish uchun katta kuchlanganlikka ega bo'lgan magnit maydoni talab etiladi. Modulyatsiya chuqurligining kamligi va optik nurlanishning magnitooptik modalardagi kuchli yutilishi ham magnitooptik modulyatorlarning qo'llanishini cheklovchi omillardan hisoblanadi.



6.10- rasm. Magnitooptik modulyatorning tuzilish sxemasi:
1 – aktiv muhit (magnitooptik moda); 2 – induksiyalovchi g'altak;
3 – qutblagich; 4 – tahlillagich (analizator); 5 – linza.

6.3.4. Yupqa pardali va yarimo'tkazgichli modulyatorlar

Mikrooptoelektronikada, jumladan, optik aloqa tizimlarida qo'llash uchun 6.2-§ da ko'rib o'tilgan fizik hodisalardan foydalanishga asoslangan yupqa pardali modulyatorlar eng istiqbolli hisoblanadi. Elektrooptik hodisalar sodir bo'ladigan modalar sifatida litiy niobati va tantalati hamda ularning qorishmalaridan foydalaniladi. Yupqa pardali modulyatorlar yaratishda chegaraviy chastotani bu turdagi asbobning hajmiy analoglaridagiga nisbatan oshirish mumkin bo'ladi (10^6) Hz gacha. Bu turdagi modulyatorlar kichik qiymatli kuchlanish bilan boshqariladi.

Optik aloqa tizimlarida yarimo'tkazgichli modulyatorlardan ham foydalaniladi.

Yarimo'tkazgichli p - n o'tishlarda teskari yo'nalishda qo'yilgan kuchlanish ta'sirida hajmiy zaryad sohasida erkin zaryad tashuvchilar konsentratsiyaning o'zgarishi tufayli chiziqli elektro-optik effekt sodir bo'ladi. Bu hol dielektrik singdiruvchanlik, demak, sindirish ko'rsatkichining modulyatsiyalanishiga sabab bo'ladi (6.11-rasm).

Nurlanishni p - n o'tish tekisligi bo'ylab yupqa qatlamga kiritish zarur bo'lgani uchun bu effektini hajmiy modulyatorlarda ro'yobga chiqarish qiyinchilik tug'diradi. Yupqa pardali tuzilmalarda bu talab oson bajariladi. GaAs, GaP kabi yarimo'tkazgichlardan foydalanilganida boshqarish kuchlanishining qiymatini bir necha voltgacha kamaytirish mumkin.

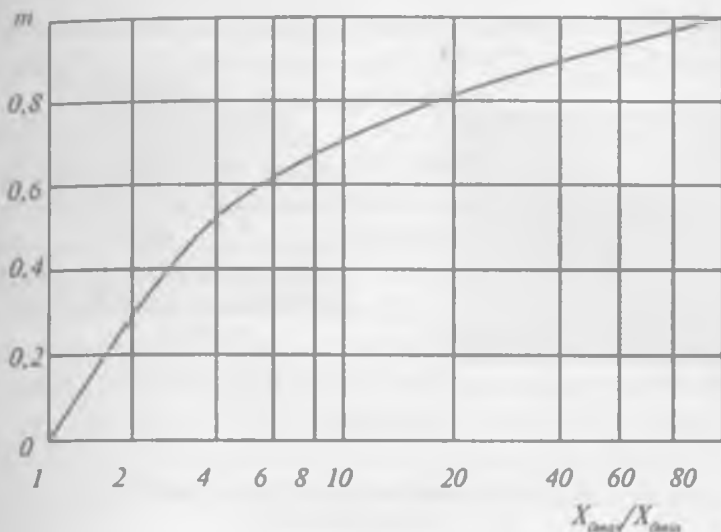
Yarimo'tkazgichlarda yorug'lik nurlanishining yutilishi ikki xil mexanizm asosida — erkin zaryad tashuvchilarning bir energetik sathdan boshqa energetik sathga o'tishi yoki elektronlarning valent energetik sohasidan o'tkazuvchanlik energetik sohasiga o'tishi hisobiga yuz beradi.

Yarimo'tkazgichlarda yorug'lik nurlanishi yutilishining xuddi shu mexanizmlari nurlanish intensivligini modulyatsiyalashda amaliy qo'llanish topdi.

Yorug'lik nurlanishining erkin zaryad tashuvchilarda yutilishi jarayoniga asoslangan bu turdagi modulyatorlarda zaryad tashuvchilarning konsentratsiyasi ularning p - n o'tish orqali injeksiyasi bilan boshqariladi.

O'z-o'zidan ravshanki, erkin zaryad tashuvchilarning konsentratsiyasi qanchalik keng oraliqda o'zgarsa, yarimo'tkazgichning optik zichligi, demak, modulyatsiya chuqurligi shunchalik katta bo'ladi. Biroq zaryad tashuvchilar konsentratsiyasining o'zgarishi tuzilmaning boshqa parametrlariga ham ta'sir etadi, masalan, zaryad tashuvchilarning o'rtacha yashash vaqti ortadi. Bu hol chegaraviy modulyatsiya chastotasining $10^5 - 10^6$ Hz largacha kamayishiga olib keladi.

Ishchi kuchlanishining kichik qiymatlari (bir necha volt), tuzilishining soddaligi, ishonchlilik, texnologik maqbullik bu turdagi modulyatorlarning afzalliklaridan hisoblanadi.



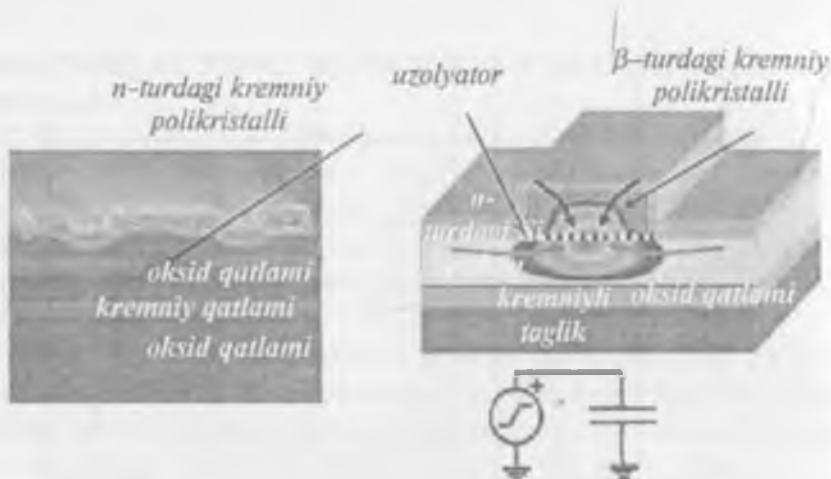
6.11-rasm. Modulyatsiya chuqurligining yorug'lik nurlanishi yutilishi chuqurligiga bog'liqligi

Kremniyli optik modulyatorlar

2004-yilning fevralida «Intel» kompaniyasi kremniyli fotonika sohasida yangi yutuqqa erishdi — 1 GHz chastotali fazaviy optik modulyatorni ishlab chiqdi va namoyish etdi. Yorug'likning erkin zaryad tashuvchilarda sochilishiga asoslangan bu turdagi modulyator o'zining tuzilishiga ko'ra ko'p jihatdan komplementar metall-dielektrik-yarimo'tkazkichli tranzistorni eslatadi. 6.12-rasmda ana shu turdagi optik modulyatorning tuzilishi ko'rsatilgan.

Dielektrik (kremniy II oksidli) qatlamli kremniy kristalidan iborat taglikda n turdagi kremniy kristali joylashtiriladi. Shundan so'ng markazida to'lqin uzatkich vazifasini o'taydigan p turdagi kremniy polikristali qatlami joylashgan kremniy II oksidi keladi. Bu qatlam n turdagi kremniy kristalidan qalinligi atigi 120 angstromga teng bo'lgan juda yupqa dielektrik qatlam bilan ajratiladi. Yorug'likning metall kontaktda sochilishini kamaytirish uchun bu kontaktlar kremniy oksidi qatlamidan to'lqin uzatkichning ikki tomonidan yupqa kremniy polikristali qatlami bilan ajratiladi.

Boshqaruvchi elektrodga musbat kuchlanish qo'yilganida dielektrikli boshqaruvchi elektrod (qulf)ning ikkala tomonida zaryad



6.12-rasm. Kremniyli fazaviy optik modulnya
torning tuzilishi

induksiyalanadi va bunda to'liqin uzatkich (p -turdagi kremniy polikristalli qatlami) tomonida kovaklar, n -turdagi kremniy tomonida esa erkin elektronlar hosil bo'ladi.

Erkin zaryad tashuvchilarning mavjudligi kremniy sindirish ko'rsatkichining o'zgarishiga olib keladi. Sindirish ko'rsatkichining o'zgarishi o'z navbatida bu qatlamdan o'tuvchi yorug'lik to'liqini fazasining siljishiga olib keladi.

6.3.5. Spektr bo'yicha zichlashtirilgan optik aloqa tizimlarida modulyatsiyalash jarayoni

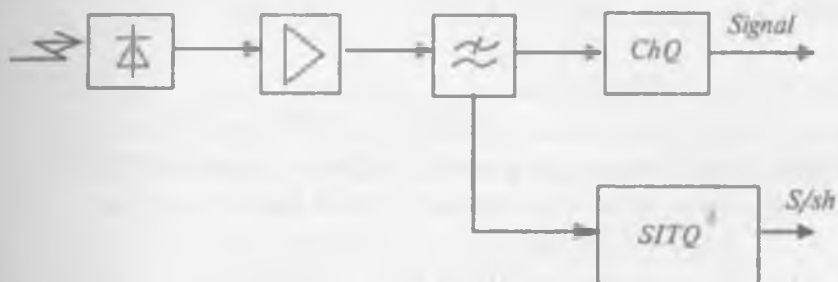
Optik eltuvchini bevosita modulyatsiyalash — uni ulash va uzish mumkin. Biroq yorug'lik oqimini modulyatsiyalash uchun 10^7 — 10^{10} MHz diapazonidagi oraliq eltuvchidan foydalanish yanada samaraliroqdir.

Bunday yondoshuvning afzalligi turli diapazonlar uchun ishlab chiqilgan standart usullardan va amplitudaviy, chastotaviy va fazaviy hamda kombinatsiyalashgan modulyatsiya qurilmalaridan foydalanish imkoniyatining mavjudligi bilan bog'liq. WDM tizimlarida ko'p kanalli modulyatsiyalash jarayonida har bir alohida oqimi o'z eltuvchisini modulyatsiyalaydi va ular optik signalni modulyatsiyalovchi bitta eltuvchiga zichlashtiriladi.

6.4. Intensivlik bo'yicha modulyatsiyalangan optik signalni fotoqabulqilgich tomonidan qabul qilish jarayonlari va ularni baholash usullari

Intensivlik bo'yicha modulyatsiyalangan optik signalni qabul qilishga oid asosiy masalalarni ko'rib chiqaylik. 6.13-rasmda raqamli signallar ta'sirida modulyatsiyalangan optik nurlanishni qabul qiluvchi fotoqabulqilgich qurilmaning sxemasi keltirilgan.

Fotodiod bilan detektorlanadigan tok avval kam shovqinli dastlabki kuchaytirgichda kuchaytiriladi, so'ng shovqin ta'sirini kamaytirish va qaror qabul qiluvchi sxema kirishida yetarlicha yuqori sathli signalni olish uchun filtrlanadi. Qaror qabul qilish sinxron impulslarni tiklovchi qurilma (SITQ) yordamida amalga oshiriladi. Ko'pincha qabul qilish sxemasiga sathni avtomatik boshqarish bloki kiritiladi.



6.13-rasm. Raqamli signal bilan modulyatsiyalangan optik nurlanishni qabul qiluvchi fotoqabulqilgich

Bu blok kuchaytirgichlarning kuchaytirish koeffitsiyentini, ko'chkili fotodiod qo'llanilgan holda esa kuchaytirish koeffitsiyentini va kirish sathi o'zgarishlarini kompensatsiyalash uchun xizmat qiladi.

Signal-shovqin (S-Sh) nisbati fotoqabulqilgich qurilma ishining asosiy sifat ko'rsatkichi hisoblanadi. Fotoqabulqilgich qurilma sifatida *p-i-n* fotodiodidan foydalaniladigan hol uchun signal-shovqin nisbatini ko'rib chiqaylik.

Avval ko'rib o'tilganidek, fotodiod chiqishidagi fototok quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$I = q (1 - \chi) \alpha \beta (P/h \nu). \quad (6.15)$$

Fotodetektor chiqishidagi shovqin *p-i-n* fotodiodi chiqish toki titrashlari (dispersiyasi)ning o'rtacha kvadratik qiymati bo'lib, u Shottki tomonidan kiritilgan quyidagi miqdoriy munosabat bilan aniqlanadi:

$$P_{sh} = 2q (I + I_T) B. \quad (6.16)$$

Fotoqabulqilgichlarda yuklamaning aktiv qarshiligi *R* bilan bog'liq I_{ish} issiqlik shovqinlari qo'shimcha shovqin manbai hisoblanadi:

$$I_{ish} = 4kT \cdot B/R, \quad (6.17)$$

bunda *k* – Boltsman doimiysi; *T* – absolut harorat, K.

S-Sh nisbati fotodiod chiqishidagi fototok amplituda qiymatining kvadratini barcha shovqin manbalari dispersiyasiga nisbati orqali aniqlanadi. Ko'rilayotgan hol uchun bu parametr quyidagi ko'rinishda ega bo'ladi:

$$C / Sh = \frac{I^2}{I_{sh}^2} = \frac{I^2}{2qB[I + I_T] + 4kTBF_{sh} / R}. \quad (6.18)$$

Bu ifodada kuchaytirgichning shovqin manbalari kuchaytirgichning shovqin koeffitsiyenti F_{sh} orqali hisobga olingan.

p-i-n fotodiodlari uchun yuklamaning issiqlik shovqinlari va kuchaytirgichlarning shovqinlari drob shovqinlariga nisbatan ancha katta bo'lgani uchun bu holda S-Sh nisbati uchun quyidagi soddalashtirilgan munosabatdan foydalanish mumkin:

$$S-Sh = PR / (4kTBF_{sh}). \quad (6.19)$$

Shunday qilib, S-Sh nisbatini maqbullashtirish uchun shovqin manbalari kuchsiz, *p-i-n* fotodiodining chiqish toki *I* va yuklamaning to'liq qarshiligi *R* esa katta bo'lishi kerak.

Xususi shovqinlari bo'lmagan ideal fotoqabulqilgich uchun S-Sh nisbati quyidagi munosabat bilan aniqlanadi:

$$S-Sh = \frac{\partial \eta}{2kTB}. \quad (6.20)$$

Bu kattalik kirishdagi minimal quvvat signali bilan birga keladigan kvantlash shovqinlari bilan chegaralanganida, to'g'ridan-

to'g'ri fotodetektorlashga asoslangan fotoqabulqilgichning chegaraviy sezgirligini belgilaydi.

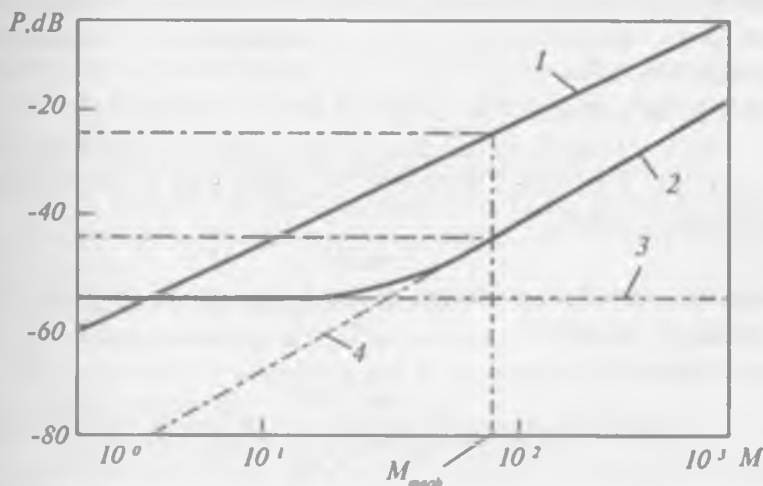
Ko'chkisimon fotodiod qo'llanilgan holda yuqorida ko'rib o'tilgan munosabatlar birmuncha o'zgaradi. Ko'chkisimon ko'payish koeffitsiyenti M ni hisobga olgan holda S - Sh nisbatini ifodalash uchun quyidagi miqdoriy munosabatni olamiz:

$$S-Sh = \frac{(IM)^2}{2qB[(I + I_T)M^{2+x} + I_{f_m} + 4kTBF_{sh}/R]} \quad (6.21)$$

(6.21) dan ko'rinadiki, M ortgan sari S - Sh nisbati ham ortadi. Ko'payish koeffitsiyenti M ning qiymati uchun maqbullashtirilgan ifoda mavjud bo'lib, u quyidagicha aniqlanadi:

$$M = M_{maqbul} = \left(\frac{2(qI_{f_m} + 2kTF_{sh}/R)}{xq(I + I_T)} \right)^{1/(2+x)} \quad (6.22)$$

6.14-rasmda signal, shuningdek, drob va issiqlik shovqinlarining kuchayish koeffitsiyenti M ga bog'liqligi keltirilgan. Unda kuchaytirish koeffitsiyentining maqbul qiymati M_{maqbul} , yig'indi shovqin, asosan, drob shovqinlari bilan aniqlanadigan holga mos keladi.



6.14-rasm. Signal (1), issiqlik (3), drob (4) va yig'indi shovqinlarining kuchayish koeffitsiyentiga bog'liqligi

Intensivlik bo'yicha analog ko'rinishda modulyatsiyalangan yorug'lik nurlanishini qabul qilishda S-Sh nisbatini ko'rib chiqamiz. Bu holda 6.15-rasmda keltirilgan tuzilish sxemasiga muvofiq yorug'lik nurlanishi bevosita fotodetektorga tushadi.

Undan ko'rinadiki, halaqit qiluvchi nurlanishlar imkon qadar diafragmalanadi va filtr yordamida yo'qotiladi. Fotodetektordan keyin uning chiqish toki o'zgaruvchan tashkil etuvchisini kuchaytirish uchun kuchaytirgich o'rnatiladi.



6.15-rasm. Intensivlik bo'yicha analog ko'rinishda modulyatsiyalangan yorug'lik nurlanishini bevosita qabul qilish sxemasi.

Fotodetektor va kuchaytirgich orasida, shuningdek, kuchaytirgich qurilmasida signal spektri tashkil etuvchilarini shovqinlardan ajratib beruvchi filtrlardan foydalanish mumkin.

Fotodetektorga intensivlik quyidagi qonuniyat bo'yicha modulyatsiyalangan signal tushayotgan bo'lsin:

$$P(t) = P_0[1 + m s(t)], \quad (6.23)$$

bunda P_0 – qabul qilinayotgan yorug'lik nurlanishining o'rtacha quvvati; $s(t)$ – modulyatsiyalovchi analog signal, m – modulyatsiya chuqurligi.

Ushbu hol uchun S-Sh nisbatini ko'rib chiqaylik.

Ko'chkili fotodiod qo'llanilgan holda, uning chiqishidagi, ya'ni kuchaytirgich kirishidagi tokning o'zgaruvchan tashkil etuvchisi quyidagi munosabat

$$I_m = m I M \quad (6.24)$$

bilan aniqlanishini e'tiborga olsak, S-Sh nisbati uchun quyidagi munosabatga kelamiz:

$$S-Sh = \frac{m^2 |M|^2}{2q \left[(I + I_T) M^{2+x} + I_{f_m} + 4kTBF_{sh} / R \right]}. \quad (6.25)$$

p-i-n fotodiodidan foydalanilganida ($M=1$) sezgirlik issiqlik va kuchaytirgich shovqinlari bilan chegaralanadi, yorug'lik quvvati

modulyatsiyasining minimal amplitudasi esa quyidagi munosabat bilan aniqlanadi:

$$P_{\min} = (mP)_{\min} = \frac{2h\nu(2kTBSF_{sh} \ 1/R)^{1/2}}{\eta q}. \quad (6.26)$$

(6.26) ifodadan ko‘rinadiki, modulyatsiya chuqurligi m ning ortishi bilan S-Sh nisbati ham ortadi. Bu ifoda, shuningdek, talab etiladigan S-Sh nisbatini ta’minlovchi parametrlarning qiymatlarini aniqlash imkonini beradi.

Nazorat savollari

1. Yorug‘lik nurlanishi optik eltuvchisini modulyatsiyalash jarayoniga ta’rif bering.
2. Optik eltuvchini yorug‘lik to‘lqinining qaysi parametrlari bo‘yicha modulyatsiyalash mumkin?
3. Optik eltuvchini modulyatsiyalashning qanday usullari mavjud?
4. Optik eltuvchini to‘g‘ridan-to‘g‘ri, tashqi va ichki modulyatsiyalash jarayonlariga ta’rif bering.
5. Yorug‘lik diodi va lazer diodi intesivligini analog elektr signali ta’sirida modulyatsiyalash jarayonini tavsiflang.
6. Yorug‘lik diodi va lazer diodi intesivligini raqamli elektr signali ta’sirida modulyatsiyalash jarayonini tavsiflang.
7. Optik nurlanishni tashqi va ichki usul bilan modulyatsiyalashda qaysi fizik hodisalardan foydalaniladi?
8. Elektrooptik hodisalar (Pockels va Kerr effektlari)ning mohiyatini tushuntiring.
9. Akustooptik hodisalar (Bregg va Raman-Nat effektlari)ning mohiyatini tushuntiring.
10. Magnitooptik hodisa (Faradey effekti)ning mohiyatini tushuntiring.
11. Yorug‘lik nurlanishini modulyatsiyalash maqsadida qo‘llaniladigan foto-o‘tkazuvchanlik, fotoxrom va fotokristallik hodisalarning mohiyatini tushuntiring.
12. Optik modulyator qurilmasiga ta’rif bering.
13. Optik modulyatorning qanday xillari mavjud?
14. Ish mexanizmining xususiyatlariga ko‘ra optik modulyatorlar qanday guruhlariga ajratiladi?
15. Elektrooptik modulyatorning tuzilishi va ish prinsipini tavsiflang.
16. Elektrooptik modulyator qanday parametrlar bilan tavsiflanadi? Ularga ta’rif bering.
17. Elektrooptik modulyatorning afzalliklari va kamchiliklari nimada?

18. *Max-Tsender interferometri sxemasidan foydalanishga asoslangan elektrooptik modulyatorning tuzilishi va ish prinsipini tavsiflang. Bu turdagi modulyatorning afzalliklari nimada?*
19. *Akustooptik modulyatorning tuzilishi va ish prinsipini tavsiflang. Bu turdagi optik modulyatorning kamchiliklari nimada?*
20. *Magnitooptik modulyatorning tuzilishi va ish prinsipini tavsiflang. Bu turdagi optik modulyatorning kamchiliklari nimada?*
21. *Yupqa pardali optik modulyatorlarning hajmiy modulyatorlardan afzalliklari nimada?*
22. *Yarimo'tkazgichli elektrooptik modulyatorlarning ish mexanizmlari qanday jarayonlardan foydalanishga asoslangan. Bu turdagi optik modulyatorlarning afzalliklari nimada?*
23. *Kremniyli optik modulyatorning tuzilishi va ish prinsipini tushuntiring.*
24. *Spektr bo'yicha zichlashtirilgan optik aloqa tizimlarida modulyatsiyalash jarayonini tavsiflang.*

Foydalanilgan adabiyotlar

1. *Скворцов Б.В., Иванов В.И., Крухмалев В.В. и др. Оптические системы передачи. Учебник для вузов. Под ред. В.И. Иванова. — М.: Радио и связь, 1994.*
2. *Иванов В.И. Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения, — М.: Компания SAYRUS SYSTEMS, 1999. — 487 с.*
3. *Слепов Н.Н. Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи. — М.: Радио и связь, 2000 — 268 с.*
4. *Волоконно-оптическая техника: Современное состояние и перспективы. — 2-е изд., перераб. и доп. / Сб. статей под ред. Дмитресва С.А. и Слепова Н.Н. — М.: ООО «Волоконно-оптическая техника», 2005. — 576 с.*
5. *Убайдуллаев Р.Р. Волоконно-оптические сети. — М.: Эко-трендз, 2000.*
6. *Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи. Перевод с английского под ред. Н.Н.Слепова. — М.: Техносфера. — 2003.*
7. *Свечников С.В. Элементы оптоэлектроники. —М.: Сов. радио, 1971. — 271.*
8. *Шарупич Л.С., Тугов Н.М. Оптоэлектроника. — М.: Энергоатомиздат, 1984. — 256 с.*
9. *Хансперджер Р. Интегральная оптика: Пер. с англ. — М.: МИР, 1985. — 380 с.*
10. *Мухитдинов М., Мусаев Э.С. Светоизлучающие диоды и их применение. — М.: Радио и связь, 1988. — 80 с.*

11. *Иванов В.И., Аксенов А.И., Юшин А.М.* Полупроводниковые оптоэлектронные приборы. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - 448 с.
12. *Суемасу Я., Катаока С., Кисино К., Кокубун Я., Судзуки Т. Исин О., Йонадзова С.* Основы оптоэлектроники: Пер. с яп. - М.: Мир, 1988. - 288 с.
13. *Носов Ю. Р.* Оптоэлектроника, 2-ое издание. - М.: Радио и связь, 1989. - 232 с.
14. *Василевский А.М., Кропоткин М.А. Тихонов В.В.* Оптическая электроника. - Л. Энергоатомиздат, 1990. - 176 с.
15. *Гроднев И.И.* Волоконные оптические линии связи. - М.: Радио и связь, 1990. - 223 с.
16. *Yunusov N. va b.* Elektronika bo'yicha asosiy tushuncha va atamalar-ning o'zbekcha-ruscha-inglizcha izohli lug'ati, Toshkent, TATU, 1998. - 174 b.
17. *Скляр О.К.* Современные волоконно-оптические системы передачи. Аппаратура и элементы. - М.: Солон - Р, 2001 - 238 с.
18. *Элисеев П.Г.* Полупроводниковые лазеры от гомопереходов до квантовых точек // Квантовая электроника. 2002, №12, 1085 - 1098 с.
19. *Близнюк В.В., Гвоздев С.М.* Квантовые источники излучения. - М.: «VIGMA», 2006. - 400 с.
20. *Игнатов А.Н.* Оптоэлектронные приборы и устройства - М.: EKOTRENDZ, 2006. - 270 с.
21. *Optik aloqa asoslari: o'quv qo'llanma /G.X. Mirazimova, t.f.n., dotsent R.I. Isayev mas'ul muharrirligi ostida.* - TATU, 2006. - 114 b.
22. *Гридин В.Н., Дмитриев В.Н., Дмитриев В.М.* Оптоэлектронные приборы, системы и сети. - М.: изд-во «Наука», 2007 г. - 328 с.
23. *Скляр О.К.* Волоконно-оптические сети и системы связи. Учебное пособие. 2-ое издание. СТЕР-СПБ. Изд-во «Лань», 2010. - 272 с.

3-bo'lim

TOLALI OPTIK ALOQA TIZIMLARINING PASSIV ELEMENTLARI

Zamonaviy tolali optik aloqa tizimlarida va bu tizimlarni tekshirish va nazorat qilish uchun ishlatiladigan o'lchov texnikasida diskret tuzilishli turli xil passiv optik elementlardan ham keng foydalaniladi.

Yorug'lik signalini optik tolaga kiritish va undan chiqarish qurilmalari, optik ulagichlar, tarmoqlagichlar, attenyuatorlar, izolatorlar, filtrlar, polarizatorlar va boshqalar shular jumlasidandir. Quyida sanab o'tilgan bu passiv elementlarga tegishli ma'lumotlarni qisqacha ko'rib chiqamiz.

7-bob. YORUG'LIK NURLANISHINI OPTIK TOLAGA KIRITISH VA UNDAN CHIQARISH QURILMALARI. TOLALI OPTIK ULAGICHLAR VA TARMOQLAGICHLAR

7.1. Passiv optik qurilmalarning asosiy parametrlari

Passiv optik qurilmalar ular uchun umumiy bo'lgan bir qator parametrlar bilan tafsivlanadi: turg'un va yuguruvchi to'lqin koeffitsiyentlari, passiv optik qurilma tomonidan kiritiluvchi yo'qotishlar, to'lqin uzunligining ishchi diapazoni, ruxsat etilgan quvvat sathi shular jumlasidandir.

1. Turg'un va yuguruvchi to'lqin koeffitsiyentlari: $k_{\text{turg'}}$ va $k_{\text{yug'}}$.

Optik tola bo'ylab tarqalayotgan turg'un va yuguruvchi to'lqinlarning ulushlarini ifodalovchi bu koeffitsiyentlar qurilmaning optik trakt bilan moslashish darajasini ko'rsatadi. Bu koeffitsiyentlarning son qiymati yorug'lik nurlanishining ikki shaffof muhit chegarasidan qaytishi, ya'ni aks etish koeffitsiyenti p bilan bog'liq va mazkur bog'lanish quyidagi munosabat orqali ifodalanadi:

$$k_{\text{turg'}} = 1 - k_{\text{yug'}} = (1 + |p|) / (1 - |p|), \quad (7.1)$$

bunda — $|p| = \sqrt{P_{aks.e} / (P_{tush} + P_{kur})}$ va $P_{aks.e}$ — mos ravishda shaffof muhitlar chegarasiga tushayotgan va undan aks etayotgan nurlanish quvvatlari.

Muhitlarning ideal moslashish chog'ida yorug'lik nurlanishi aks etmaydi, ya'ni $P_{aks.e} = 0$; $p = 0$ va $k_{tt} = 1$; $k_{yut} = 0$ ga teng bo'ladi. Shaffof muhitlarning o'zaro moslashmaganligi uzatilgan optik signal shaklining buzilishiga va qo'shimcha yo'qotishlarning yuzaga kelishiga olib keladi. Yorug'lik impulslarining nurlanishning takroriy aks etishi tufayli buzilish jarayoni 7.1-rasmda ko'rsatilgan.

Chizmalardan ko'rinadiki, yorug'likning optik qurilmaning kirish va chiqish chegaralaridan takroriy aks etishi tufayli uning chiqishidagi natijaviy signal shakli kirish signalining to'g'ri burchakli ko'rinishini takrorlamaydi. Mazkur jarayon bundan tashqari nurlanish impulsi kengligining ortishiga olib keladi.

2. Optik qurilma tomonidan kiritiluvchi yo'qotish (so'nish)lar. Optik qurilmaga tegishli xususiy yo'qotishlarni tafsivlovchi bu parametr, unga kiruvchi va undan chiquvchi nurlanish quvvatlari nisbatining logarifmi bilan aniqlanadi:

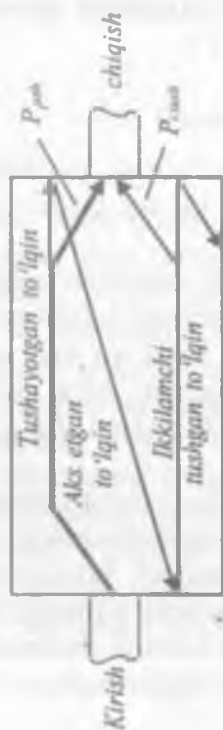
$$d = 10 \lg(P_{chiq}/P_{kur}). \quad (7.2)$$

va dB larda o'lchanadi.

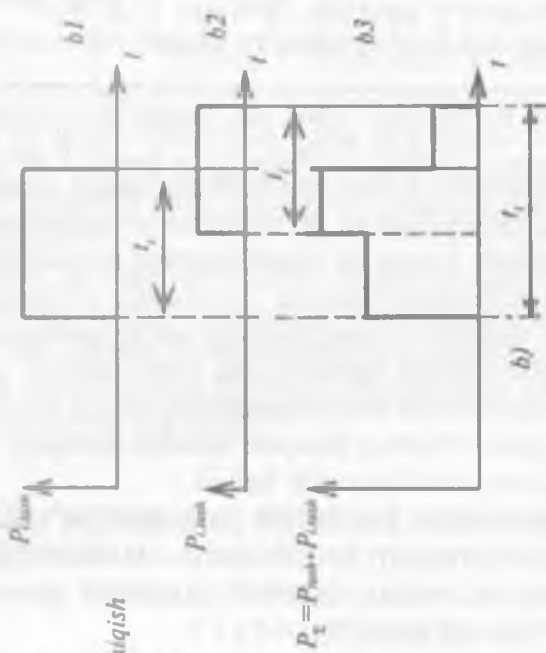
Optik qurilma tomonidan kiritiluvchi yo'qotish (so'nish)lar yorug'lik nurlanishining yutilishi, sochilishi va aks etishi tufayli yuzaga keladi.

3. To'lqin uzunligining ishchi diapazoni. Bu parametr yorug'lik nurlanishining optik qurilma asosiy parametrlarining texnik me'yor chegarasidan chiqmasligiga mos kelgan eng katta va eng kichik to'lqin uzunliklari $\lambda_{min} \dots \lambda_{maks}$ oralig'ini ifodalaydi. Mos ravishda yorug'lik nurlanishining ishchi chastotalar diapazoni $f_{min} \dots f_{maks}$ tushunchasidan ham foydalaniladi.

4. Ruxsat etilgan nurlanish quvvati sathi. Bu parametr yorug'lik nurlanishi quvvatining optik qurilma asosiy parametrlarining texnik me'yor chegarasidan chiqmaydigan sathini ko'rsatadi. Ruxsat etilgan sathdan yuqori quvvatli signal uzatilganda, qurilma yaroqsiz holga kelishi mumkin. Optik passiv qurilmalarning boshqa parametrlari muayyan qurilmaning bajaradigan vazifasidan kelib chiqilgan holda aniqlanadi.



a)



7.1-rasm. Yorug'likning takroriy aks etish natijasida nurlanish impulslari shaklining buzilishi:

a – moslashmagan optik qurilmada to'liqlarning tarqalish jarayoni;

b – optik qurilmaning chiqish chegarasiga tushayotgan (b1), undan aks etgan (b2) va natijaviy nurlanish impulslarining (b3) vaqt diagrammalari

7.2. Yorug'lik nurlanishini optik tolaga kiritish va undan chiqarish qurilmalari

Bu turdagi optik qurilmalar nurlanish quvvatini yorug'lik manbayidan optik tolaga va optik toladan fotoqabulqilgichga imkon qadar yo'qotishlarsiz uzatish uchun xizmat qiladi. Ularning tuzilish xususiyatlari yorug'lik manbayi, fotoqabulqilgich va optik tolaning tafsirlari bilan belgilanadi. Yorug'lik manbayi nisbatan kichik nurlanish quvvati hosil qilib, uni katta sirt orqali taratishi (yorug'lik diodlari holi) va aksincha, katta nurlanish quvvati taratib, nisbatan kichik nurlanish sirtiga ega bo'lishi mumkin (lazer diodlari holi). Keyingi holda uni optik tolaga bevosita ulash imkoni tug'iladi.

Nurlanishni ko'p modali tolaga kiritishdagi yo'qotishlar quyidagi munosabat bilan aniqlanadi:

$$a_{nk} \approx \eta + A_{nurl} + A_{aks.c} \quad (7.3)$$

bunda $\eta = 10 \lg(P_{nurl.m}/P_{opt.t})$ – nurlanishni yorug'lik manbayidan optik tolaga kiritish samaradorligi, dBq;

$P_{nurl.m}$ – yorug'lik manbayining nurlanish quvvati, W;

$P_{opt.t}$ – optik tolaga kiritilgan nurlanish quvvati, W;

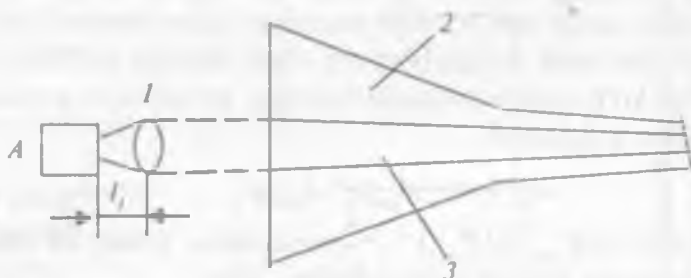
A_{nurl} – modalarning statsionar (turg'un) holati o'rinlangan hol uchun mos kelgan nurlanish yo'qotishlari, dBq.

$A_{aks.c}$ – nurlanishning yorug'lik manbayi va optik tola chegarasidan qaytishi – aks etishi hisobiga yuzaga keladigan yo'qotishlar, dBq.

Nurlanish manbayini ko'p modali tola bilan eng yaxshi va barqaror moslashuviga, boshqacha aytganda, yorug'likning optik tola chegarasidan aks etishini kamaytirishga, yorug'lik manbayi yuzasini sindirish ko'rsatkichi $n_t = (n_{n.m} \cdot n_{opt.t})^{1/2}$ munosabat bilan aniqlanadigan to'rt to'liqlik qatlam bilan qoplash va mazkur manba va optik tola orasidagi tirqishni $n_{opt.t}$ sindirish ko'rsatkichili immert-sion suyuqlik bilan to'ldirish hisobiga erishiladi.

Nurlanishni bir modali tolaga kiritishdagi muammolardan biri lazer nurlantirgan to'liqlik va yorug'lik diodining asosiy modalari NE_{11} maydonlarining taqsimlanishining mos kelmasligi hisoblanadi. Bu nomuvofiqlik, optik signallarni tolaga kiritish qurilmalarining juda katta aniqlikda tayyorlanishini taqozo etadi.

7.2-rasmda yorug'lik nurlanishini optik tolaga kiritish qurilmalaridan biri — konussimon ko'rinishli qurilmaning tuzilish sxemasi keltirilgan. Konus asosi ko'ndalang kesimi yuzasining katta diametrlari (1...2 mm) da optik tolada yuqori tartibli modalar hosil bo'lishi mumkin. Buni bartaraf etish maqsadida lazer diodi va konusning ko'ndalang sirti orasiga yorug'lik to'lqinlari o'rtasidagi faza siljishlarini korreksiyalovchi (to'g'rilovchi) element — sferik linza o'rnatiladi. Bunday qurilma nurlanish quvvatini 1,6...2,2 dBq samaradorlik bilan kiritish imkonini beradi.



7.2-rasm. Nurlanish quvvatini optik tolaga kiritish qurilmasi:

A — nurlanish manbai; *1* — sferik linza;

2 — konussimon tuzilishli bir modali optik tola;

3 — optik tolaning o'zagi

7.3. Tolali optik ulagichlar va ularning turlari

Optik tolalarni funksional qurilmalar bilan o'zaro ishonchli ulash tolali optik aloqa liniyalarini tashkil etishning eng muhim masalalaridan biri hisoblanadi.

Optik ulagich optik aloqa liniya traktining turli komponentalarini ulash uchun mo'ljallangan qurilma bo'lib, undan uzatuvchi va qabul qiluvchi optoelektron modullarni optik kabel tolalari bilan, shuningdek, kabelning qurilish uzunliklarini bir-biri ulash uchun foydalaniladi. Optik ulagichlarning ikki — ajralmaydigan va ajraladigan turlari mavjud.

Ajralmaydigan optik ulagichlar kabel tizimlarini doimiy montaj qilish joylarida qo'llaniladi va bu turdagi ulash optik tolalarni o'zaro payvandlash usuli bilan amalga oshiriladi. Ajraladigan optik ulagichlar (ularni ko'pincha *konnektor* deb ham ataladi) optik aloqa

liniyalari komponentalarini ko'p martalab ulash/ajratish uchun ishlatiladi.

Amaliyotda ajraladigan optik ulagichlar optik kabelning ikki uchini uzatuvchi va qabul qiluvchi optoelektron modullarning asosiy elementlari — yorug'lik manbayi va fotoqabulqilgichlar bilan ulashda, ajralmaydigan optik ulagichlar esa optik tolaning oraliq bo'laklarini ulashda qo'llaniladi.

Buning sababi shundaki, ajralmaydigan optik ulagichlarda ular tomonidan kiritiluvchi yo'qotishlar sathi nisbatan past bo'lib, uning son qiymati 0,04 dB ni tashkil etadi.

Bundan tashqari, ajralmaydigan optik ulagichlar ulanishlarda aniq doimiylikni ta'minlaydi.

Ajraladigan optik ulagichlarda esa kiritiluvchi yo'qotishlar sathi nisbatan katta bo'ladi.

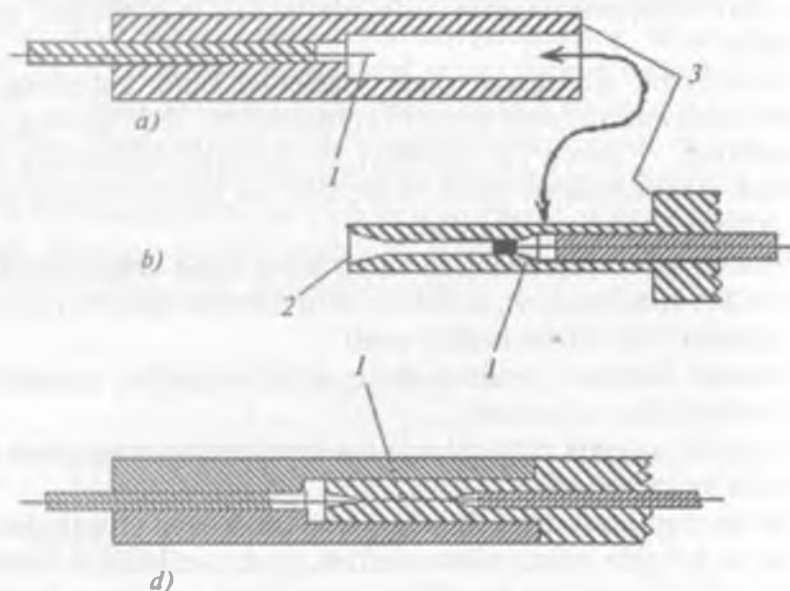
Bu turdagi optik ulagichlardan, yuqorida qayd etilganidek, bir necha va ko'plab marta ulash-ajratish taqozo etiladigan hollarda, masalan, kommutatsiya panellarida yoki optik kanallarni krosslash maqsadlarida foydalaniladi.

Agar biz ulovchi qurilmani almashtirishni istasak, unda buni ajralmaydigan optik ulagichlarga qaraganda ajraladigan optik ulagichlar orqali amalga oshirish qulay.

Ajraladigan optik ulagichlarning tuzilishi

7.3-rasmda shtekerli ajraladigan optik ulagichning tuzilishi ko'rsatilgan. Bu ulagich foydalanish chog'ida bir-biri bilan ulanadigan ikki — uya va shtir qismlaridan tarkib topadi. Bu qismlar ulanishdan so'ng o'zaro gayka bilan mustahkamlanadi (rasmda optik ulagich uyali qismining yuzasidagi rezba va gayka ko'rsatilmagan).

Ulagichlarga quyidagi talablar qo'yiladi: tuzilish jihatidan soddalik, kirituvchi yo'qotishlarining imkon qadar kam bo'lishi kerakligi, tashqi mexanik, atrof-muhit omillarining ta'siriga va boshqa ta'sirlarga bardoshlilik, yuqori darajadagi ishonchlilik, ko'p martalab takroriy ulanishlarga nisbatan barqarorlik ana shu talablar sirasiga kiradi.



7.3-rasm. Shtekkerli ulagich:
*a — uya; b — shtir; d — ulagichning
 ajraladigan qismi; 1 — tola; 2 — kanal; 3 — birlashuvchi yuzalar*

Ajralmaydigan optik ulagichlar

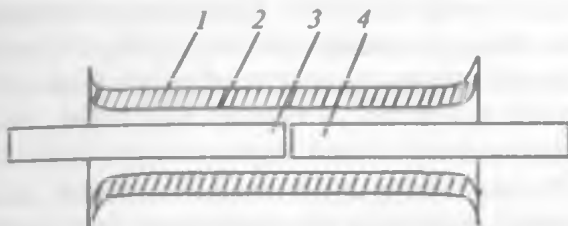
Ajralmaydigan optik ulashning keng tarqalgan usullaridan biri shishadan tayyorlangan nay yordamida ulash hisoblanadi (7.4-rasm).

Chizmadan ko'rinadiki, ulashning bu usulida ulanadigan optik tolalalar shisha nay ichiga ko'ndalang kesimlari bir-biriga zichlashtirilgan holda joylashtirilib, nay va tolalar o'rtasidagi oraliq kompaund qatlam bilan to'ldiriladi.

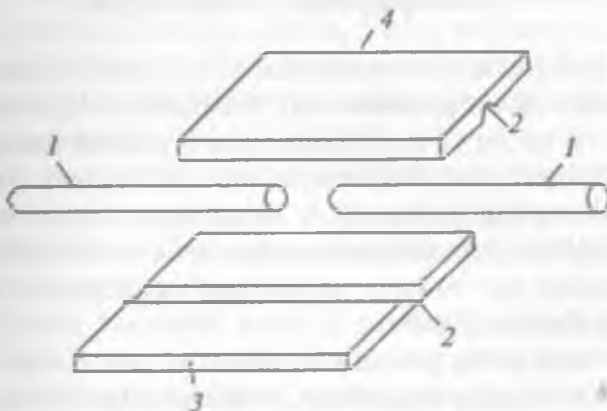
Bu turdagi ulagichlarda kiritiluvchi yo'qotishlarning qiymati 0,29 dB ni tashkil etadi.

Optik tolalarni silindrsimon ariqchali plastina yordamida ulash usulidan ham foydalaniladi (7.5-rasm).

Bu usulda tayyorlangan ulagichlarda optik tolalar uchlarining ko'ndalang kesimlari aniq markazlashtirilib, so'ng yopishtiriladi yoki payvandlanadi. Bu turdagi ulagichlarda kiritiluvchi yo'qotishlar sathi 0,5 dB ni tashkil etadi.



7.4-rasm. Optik tolalarni shisha nay yordamida ulash:
 1 – vtulka; 2 – yopishtiruvchi kompaund quyiladigan oraliq; 3, 4 – optik tolalar



7.5-rasm. Optik tolalarni silindrsimon ariqchali plastina yordamida ulash:
 1 – optik tolalar; 2 – silindrsimon ariqchalar;
 3 – plastina; 4 – qopqoq.

Optik tolalarni ajralmaydigan usulda ulash uchun payvandlashdan keng foydalaniladi. Hozirda payvandlash qurilmalari amaliyoti takomillashib bormoqda. Natijada payvandlashli ulash usuli qo'llanilganda kiritiluvchi so'nish qiymatlari bir modali va ko'p modali tolalar uchun 0,04 – 0,1 dB oraliqda yotadi.

Ko'p modali tolalarda payvandlashli ulash sifatiga ta'sir qiluvchi tolaning o'ziga bog'liq bo'lgan omillari mavjud.

Bu omillarga tola diametrlari, sonli aperturalari va sindirish ko'rsatkichlarining mos kelmasligi, o'zakning qobiq markazida joylashmasligi kiradi.

Bir modali optik tolalarda (dispersiyasi siljimagan holda) payvandlash sifatiga ta'sir qiluvchi asosiy omil — bu tolalar moda maydoni diametrlarining mos kelmasligi hisoblanadi.

Shuningdek, bo'yлама va burchakli siljishlar, o'zakning ifloslanishi va deformatsiyasi ham payvandlash sifatiga ta'sir qiluvchi omillardir. Bu omillarning ta'siri malakali texniklar, tolani avtomatik tenglashtiruvchi qurilmalar va zamonaviy payvandlash qurilmalarini ishlatish hisobiga minimumga yetkazilishi mumkin.

7.4. Optik tarmoqlagichlar: daraxtsimon va yulduzsimon tarmoqlagichlar, shahoblagich

Optik tarmoqlagich (coupler)lar tolali optik tizimlarning eng muhim passiv elementlaridan biri hisoblanadi. Ulardan yorug'lik oqimlarini bir necha yo'nalishlarga ajratish yoki bir necha oqimlarni bitta yo'nalishga birlashtirish maqsadida foydalaniladi. Odatda, bitta optik kirish va bir necha optik chiqishdan iborat tarmoqlagich qurilmani splitter deb, ikki yoki undan ortiq optik kirishga va bitta optik chiqishga ega bo'lgan tarmoqlagich qurilma esa kombayner (combiner) deb yuritiladi.

Splitterlarda yorug'lik oqimini ikki yoki undan ortiq qurilmalar va foydalanuvchilarga taqsimlash, kombaynerlardan esa, aksincha, bir necha qurilmalar va foydalanuvchilardan kelayotgan nurlanish oqimini bitta yo'nalish bo'yicha yig'ish maqsadlarida foydalaniladi.

Tarmoqlagichlar kabelli televideniyeining taqsimlangan tolali-koaksial tarmoqlarini qurishda, shuningdek, davlatlararo to'liq optik tarmoqlarni loyihalashtirishda keng qo'llaniladi. Ikkala holda ham tarmoqlagichlar qo'llanilmaganda tarmoq juda qimmatga tushardi.

Tarmoqlagichlar tuzilish xususiyatlariga ko'ra quyidagi turlarga ajratiladi:

- daraxtsimon tuzilishli tarmoqlagichlar;
- shahoblagichlar;
- yulduzsimon tuzilishli tarmoqlagichlar.

Daraxtsimon tuzilishli tarmoqlagich (tree coupler) yoki Y-turdagi tarmoqlagich bitta optik kirish va ikki yoki undan ortiq optik chiqishga ega bo'lgan qurilma bo'lib, u yorug'lik oqimini bir necha tarmoqqa taqsimlash uchun qo'llaniladi (7.6-a rasm). Odatda,

daraxtsimon tarmoqlagichlarda quvvat barcha chiqishlar orasida teng taqsimlanadi. Daraxtsimon tarmoqlagichlarning hozirgi namunalarida optik chiqishlar soni 2 tadan 32 tagacha bo'lishi mumkin. Ko'pgina daraxtsimon tarmoqlagichlardan optik signallar oqimlarini bitta oqimga birlashtirish uchun ham foydalaniladi.

Shahoblagich (tap) daraxtsimon tarmoqlagichning bir turi bo'lib, undan kirishdagi optik quvvatni bir necha chiqishlarga notekis taqsimlash uchun foydalaniladi (7.6-b rasm). Shahoblagichlarning 1×2 , 1×3 , 1×4 , 1×5 , 1×6 , 1×8 , 1×16 , 1×32 tuzilishli turlari mavjud. Bu turdagi tarmoqlagichlarda chiqish optik quvvatining katta ulushi magistral kanalda qoldirilgan holda, uning ma'lum bir ulushi (50 foizdan kami) quyi tartibli kanal yoki kanallarga uzatiladi. Qurilmaning optik chiqishlari nurlanish quvvatining kamayishi tartibida raqamlanadi.

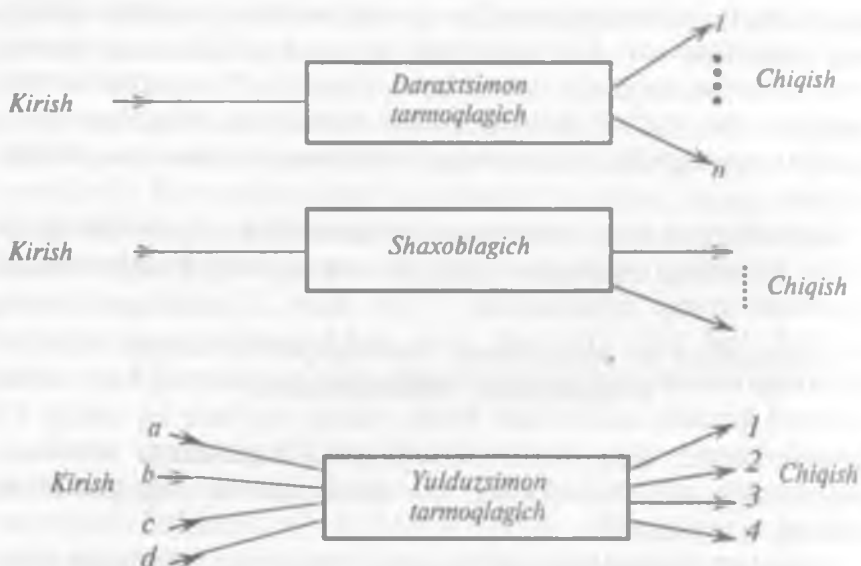
Optik tarmoqlagichlar selektiv-yorug'lik to'lqin uzunligiga sezgir va aksincha, noselektiv-yorug'lik to'lqin uzunligiga nosezgir bo'lishi mumkin. Yuqorida ko'rib chiqilgan optik tarmoqlagichlar noselektiv qurilmalar sirasiga kiradi.

Yulduzsimon tuzilishli yoki X tusdagi tarmoqlagich (star coupler). Bu turdagi tarmoqlagichlarning o'ziga xos xususiyati shundaki, uning optik kirishlari va chiqishlari soni bir xil bo'ladi (7.6-d rasm). Optik signal n ta kirishlardan biriga kirib, n ta chiqishlar o'rtasida teng taqsimlanadi. Bugungi kunda 2×2 va 4×4 tuzilishli yulduzsimon tarmoqlagichlar keng tarqalgan. Chalkashtirib yubormaslik uchun optik kirishlar lotin harflari bilan, optik chiqishlar esa raqamlar bilan belgilanadi. Yulduzsimon tarmoqlagichlar optik quvvatni barcha chiqishlar o'rtasida teng taqsimlaydi.

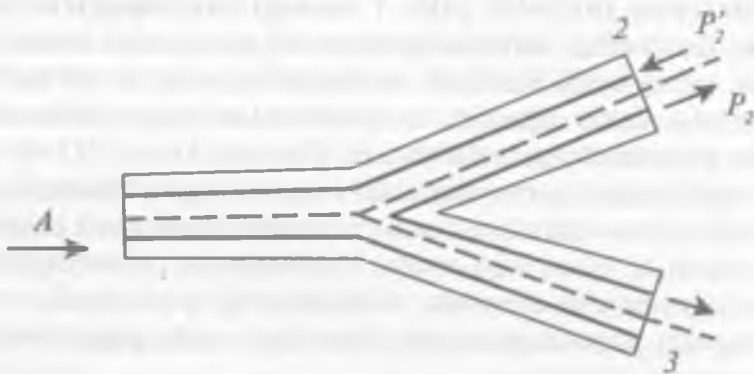
7.7-rasmda daraxtsimon yoki Y -tusdagi tarmoqlagichlarning tuzilish sxemasi keltirilgan.

Bu turdagi tarmoqlagichlar aksari ko'pchilik hollarda nurlanish quvvatini ikkiga bo'lish uchun ishlatiladi (bunda ajratilgan nurlanish quvvatlari o'zaro teng bo'lmasliklari mumkin).

Shu sababdan ularni *ajratuvchi elementlar* yoki *ajratkichlar* deb ham ataladi. Ajratkichlardan ko'p kanalli optik tizimlarni tuzish va turli xil interferometrlar tayyorlash chog'ida negiz element sifatida foydalaniladi.

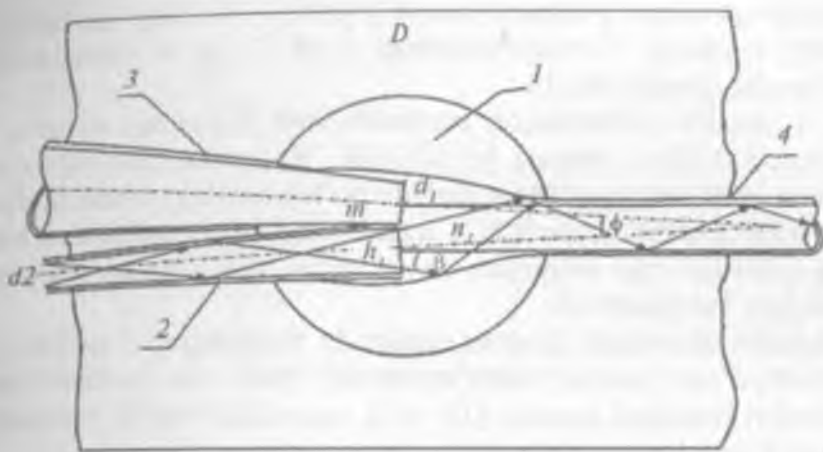


7.6- rasm. Optik tarmoqlagichning turlari:
 a – daraxtsimon tarmoqlagich;
 b – shaxoblagich; d – yulduzsimon tarmoqlagich



7.7.-rasm. Daraxtsimon yoki Y-tusdagi tarmoqlagichning tuzilish sxemasi

Nurlanishni optik tolaga kiritish va uni qaytadan chiqarishning samaradorligini oshirish uchun tuzilish sxemasi 7.8-rasmda keltirilgan nosimmetrik tuzilishli Y-tusdagi tarmoqlagichdan foydalanish mumkin.



7.8-rasm. Y-tusdagi nosimmetrik tarmoqlagichning tuzilish sxemasi

Taglik (D)da konussimon tuzilishga ega bo'lgan (2) tola (tarmoqlagichning (1) yon yelkasi), konussimon tuzilishli (3) tola (tarmoqlagichning (2) yon yelkasi) va silindrik tuzilishli (4) tola (tarmoqlagichning umumiy yelkasi) mahkamlangan. Uchta tolaning uchrashish nuqtasi taglik teshigi (1) ning markazida joylashgan. Bu nuqtada ular bir-biri bilan qotgan holdagi sindirish ko'rsatkichi 1- , 2-, 3- tolalar o'zaklarining sindirish ko'rsatkichiga yaqin bo'lgan maxsus yelim bilan ulanadi.

Diametri 2 mm bo'lgan teshikka yaqin joyda yuqorida sanab o'tilgan tolalarning uchlari yemirish yo'li bilan qaytaruvchi qobiqlar olib tashlanadi. Nurlanish kichik diametrli (d_2) 2-tolaning uchidan kiritiladi. Tolaning katta diametrli chiqish uchi, sxemada ko'rsatilganidek, 3- va 4- tolalarning uchlari bilan birlashtiriladi. Konussimon tuzilishga ega bo'lgan 2-tolaning yig'uvchi ta'siri tufayli nurlanishning uning chiqishidagi tarqalish darajasi kamayadi, natijada u qotib qolgan yelim hosil qilgan konussimon qatlamning ichki sirtiga burchak ostida tushadi va bunda to'la ichki qaytish hodisasi ro'y beradi.

Shunday qilib, nurlanish kichik diametrli 4-tolaning uchiga kiradi va shu sababdan 3-tolaga uning katta qismi qaytadi. Yuqorida tafsivlangan tarmoqlagichdagi yo'qotishlar quyidagi qiymatlarga ega:

nurlanish quvvatini 2-toladan umumiy yelka — 4-tolaga uzatishda 1,5 dB, 4-toladan 3-tolaga uzatishda 2 dB, 2- va 3- tolalarning ajratilganlik darajasi 40 dB.

7.9-rasmda yulduzsimon tuzilishli yoki X -tusdagi tarmoqlagichning tuzilish sxemasi ko'rsatilgan. Bu holda tarmoqllovchi element optik tolaning ikkita alohida bo'lagidan tayyorlanadi. Bu tolalarning har birida ma'lum L uzunlikdagi ishchi qobiqning bir qismi yedirilib yoki yemirilib, so'ng ikkala tola maxsus apparat yordamida kavsharlanadi.

Bunday texnologik jarayon natijasida tolalarning o'zaklari L uzunlikda o'zaro parallel holda joylashadi. Optik tola o'zaklarining markazlari orasidagi masofa (H) va L uzunlikka bog'liq ravishda o'zaro ta'sirlashuv yuz beradi.

Chunonchi, A nuqtadan B nuqta tomon ma'lum masofada B_1 yorug'lik uzatkichining modalar energiyasi B_2 yorug'lik uzatkichiga o'tadi.

Shundan keyingi tarqalish chog'ida u yana B_1 yorug'lik uzatkichiga qaytadi. Muayyan oraliq — L masofada nurlanish quvvati ikkala kanal bo'yicha teng ikkiga bo'linadi. (L kattalik H oraliqning o'lchamlariga va nurlanishning to'lqin uzunligiga bog'liq).

Aksari ko'pchilik hollarda X -tusdagi tarmoqlagichlar xuddi shu maqsadda tayyorlanadi. Biroq aloqa kanal parametrlarini nazorat qilish uchun mo'ljallangan qurilmalarda tarmoqlash koeffitsiyenti 10 foizdan kichik bo'lgan X -tusdagi tarmoqlagichlardan ham foydalaniladi.

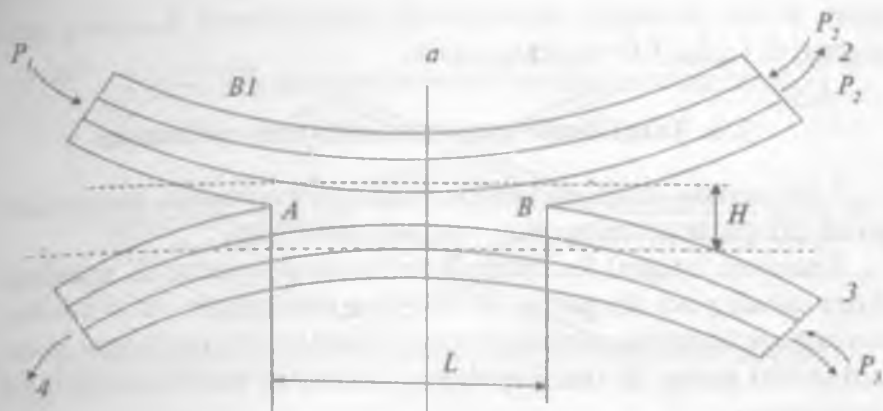
7.5. Tolali optik tarmoqlagichlarning parametrlari

Yuqorida ko'rib chiqilgan har ikki turdagi tarmoqlagichlar quyidagi parametrlar bilan tafsivlanadi:

— uzatish koeffitsiyenti:

$$\begin{aligned} k_{12} &= P_2/P_1 \text{ yoki } K_{12} = \lg(P_2/P_1) \text{ dB}; & k_{12} - k_{21}, \\ K_{13} &= P_3/P_1 \text{ yoki } k_{13} = 10 \lg(P_3/P_1) \text{ dB}; & k_{13} - k_{31} \end{aligned} \quad (7.3)$$

ajratish (izolatsiyalash) koeffitsiyenti yoki o'tishdagi so'nish:



7.9-rasm. Yulduzsimon tuzilishli yoki X-tusdagi tarmoqlagichning tuzilish sxemasi

$$k_{23}=k_{32}=10 \lg(P_{21}/P_{31}) \text{ dB.} \quad (7.4)$$

Bu parametr (2) yelkaga kiritilgan nurlanish energiyasining (3) yelkaga o'tadigan qismini yoki aksincha (3) yelkaga kiritilgan nurlanish energiyasining (2) yelkaga o'tadigan qismini ko'rsatadi. Bu qismlarni o'lchashlar chog'ida umumiy yelka (1-kanal)ning uchi sindirish ko'rsatkichi optik tola o'zagining sindirish ko'rsatkichiga teng bo'lgan immersion suyuqlikli idish (kyuveta)ga joylashtirilishi kerak.

Yorug'lik yon yelkalardan biriga kiritilganda uning umumiy yelka uchidan aks etishini yo'qotish uchun shunday qilinadi. X-tusdagi tarmoqlovchi elementlarda (4) yelka bilan ham shunday munosabatda bo'linadi. Ko'pchilik hollarda bunday immersion suyuqlik sifatida sindirish ko'rsatkichi 1,478 teng bo'lgan suvsizlantirilgan glitserindan foydalaniladi. Bu maqsadlar uchun maxsus gellar ham ishlab chiqilgan.

Uchinchi parametr — kiritiluvchi yo'qotishlar koeffitsiyenti deb ataladi:

$$k_{y o q} = [P_1 - (P_2 + P_3)]/P_1 \text{ yoki } k_y = 10 \lg [P_1 - (P_2 + P_3)]/P_1 \quad (7.5)$$

Bu parametrni X-tusdagi tarmoqlagich uchun o'lchash chog'ida 4-kirish ham immersion suyuqlikka joylashtirilishi kerak. Zamo-

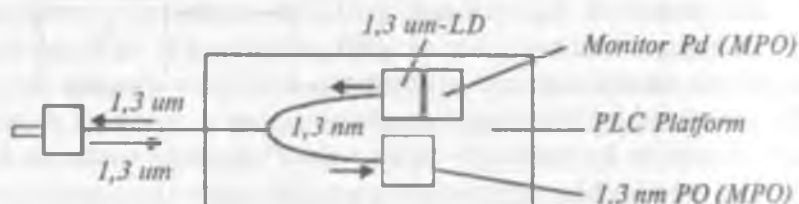
naviy Y - va X -tusdagi tarmoqlovchi elementlarda $k_{y\text{oq}}$ ning son qiymati 0,1...0,5 dB oraliqda yotadi.

7.6. Tolali optik tarmoqlagichlarning qo'llanishi

7.10-rasmda misol tariqasida NEL korporatsiyasi tomonidan ishlab chiqilgan transiverning sxemasi keltirilgan.

Transiver integral ko'rinishda tayyorlangan yorug'lik manbayi (lazer diodi yoki yoritkich diodi), fotoqabulqilgich va Y -tusdagi tarmoqlagichdan iborat optoelektron modul bo'lib, unda yon yelkalardan biri yorug'lik manbayi bilan, ikkinchisi esa fotodiod bilan birlashtirilgan.

Nurlanish quvvati va uning barqarorligini nazorat qilish uchun lazer diodining orqa tomoniga yordamchi fotodiod o'rnatilgan. Qurilmaning barcha elementlari ikki qatorli chiqqichlari bo'lgan standart qobiqqa joylashtirilgan.



7.10-rasm. NEL firmasi tomonidan ishlab chiqilgan transiverning tuzilish sxemasi

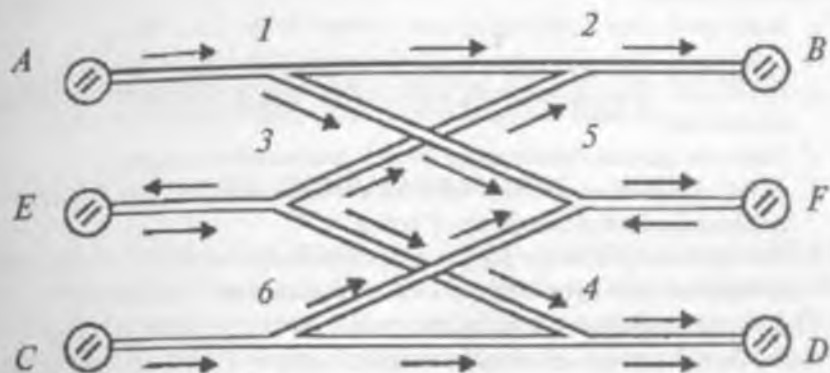
Y -tusdagi tarmoqlovchi elementning yana bir namunasi sifatida tolali optik blokni ko'rsatish mumkin.

Blok yorug'lik signallarini lokal aloqa tarmoqlariga kiritish yoki ulardan chiqarish uchun mo'ljallangan.

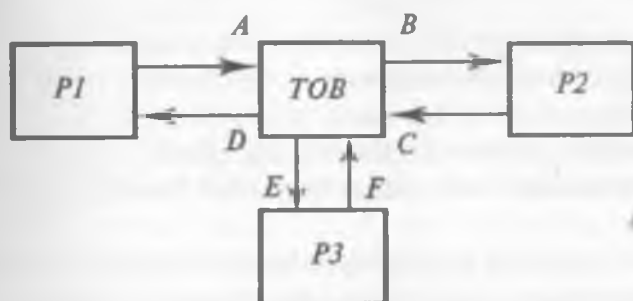
7.11-rasmda ana shunday blokning sxemasi keltirilgan.

Sxemadan ko'rinadiki, blok o'zaro bog'langan oltita Y -tusdagi tarmoqlovchi elementdan tarkib topgan. Strelkalar yordamida optik signallarning yo'li ko'rsatilgan. 7.12-rasmda ushbu blokni lokal tarmoqqa ulash sxemasi ko'rsatilgan.

Signal P_1 punktdan tolali optik blokning A kirishiga kelib tushadi va (1) tarmoqlagichning umumiy yelkasiga kiritiladi. Uning bitta



7.11-rasm. Tolali optik tarmoqlagichlar blokining tuzilish sxemasi



7.12-rasm. Tolali optik tarmoqlagichlar blokini tolali optik tarmoqqa ulash sxemasi

yon yelkasi, umumiy yelkasi *B*-blokning chiqishiga ulangan 2-tarmoqlagichning yon elkasi vazifasini ham oʻtaydi. 1-tarmoqlagichning ikkinchi yon yelkasi 5-tarmoqlagichning ham yon yelkasi boʻlib, 2-tarmoqlagichning ikkinchi yon yelkasi esa 3-tarmoqlagichning yon yelkalaridan biri vazifasini oʻtaydi, 6- va 4-tarmoqlagichlar ham 1- va 2-tarmoqlagichlarga oʻxshash sxema boʻyicha ulanadi.

Signallarni *A* kirishdan *B* va *F* kirishlarga uzatish, shuningdek, qolgan portlar orasidagi oʻxshash uzatishlar chogʻida blokdagi energiya yoʻqotishlari 6,5 dB dan oshmaydi.

Nazorat savollari

1. Tolali optik aloqa tizimlarining passiv elementlariga tavsif bering.
2. Tolali optik aloqa tizimlarining qanday passiv elementlarini bilasiz?
3. Tolali optik aloqa tizimlarining passiv elementlari qanday parametrlar bilan tavsiflanadi?
4. Nurlanish quvvatini optik tolaga kiritish qurilmasini tavsiflang.
5. Optik ulagichlar qanday maqsadlarda ishlatiladi? Ajraladigan va ajralmaydigan ulagichlarga tavsif bering.
6. Optik tarmoqlagichlardan qanday maqsadlarda foydalaniladi? Daraxtsimon, yulduzsimon tarmoqlagichlar va optik shaxoblagichga tavsif bering.
7. Optik tarmoqlagichlar qanday parametrlar bilan tavsiflanadi?
8. Tolali optik tarmoqlagichlar blokining tuzilish sxemasini tavsiflang.
9. Tolali optik tarmoqlagichlar blokini optik tarmoqqa ulash sxemasini tavsiflang.



Diagram illustrating the structure of a total optical network block (STN) and its connection to a network element (N).

The diagram shows a total optical network block (STN) and its connection to a network element (N). The STN block has three input ports on the left and two output ports on the right. The N block is connected to the STN block. The diagram illustrates the internal structure of the STN block, showing the flow of light from the inputs through the STN block to the outputs, and from the inputs through the N block to the outputs.

8-bob. OPTIK ATTENYUATOR, OPTIK FILTRLAR, IZOLATOR VA SIRKULATORLAR

8.1. Optik attenuatorlar

Ayrim hollarda, o'zgaras sathli yoki raqamli yoxud analog signal ko'rinishda mujassamlashgan nurlanish quvvatini birmuncha susaytirish zarurati tug'iladi. Chunonchi, katta sathli raqamli optik signal qabul qiluvchi optoelektron modulning asosiy elementi bo'lgan fotoqabulqilgichning to'yinish rejimiga o'tishiga olib kelishi mumkin. Analog ko'rinishli optik signallarni uzatish chog'ida quvvat sathining haddan tashqari ortib ketishi fotoqabulqilgich chiqishidagi elektr signali shaklining noxiziqli buzilishlari va tasvirning yomonlashuviga sabab bo'ladi [1].

Ana shunday hollarda optik nurlanish yoki optik signal quvvatini susaytiruvchi passiv elementlar — attenuatorlardan foydalaniladi.

Attenuatorlar ko'pincha lazer uzatkichdan keyin joylashtiriladi. Attenuatorlar lazer diodining chiqish quvvatini, undan keyingi EDFA kuchaytirgichlari kabi qurilmalar talab etadigan sath bilan moslashtiradi.

Yorug'lik intensivligi fotodiodning dinamik diapazoni doirasidan chiqadigan darajada katta bo'lgan qisqa optik tolali seksiyalarda attenuator o'rnatish mumkin. Ular intensivlikni fotoqabulqilgichning dinamik diapazoniga mos keladigan sathgacha kamaytiradi.

Ishlash prinsipiga ko'ra attenuatorlar so'nish qiymati bo'yicha o'zgaruvchan va so'nish qiymati qayd etilgan (o'zgaras bo'lgan) turlarga bo'linadi.

O'zgaruvchan attenuatorlar so'nish qiymatini 0 — 20 dB oraliq-gacha o'zgartirish imkonini beradi.

O'zgaras attenuatorlarda so'nish qiymati ishlab chiqaruvchi tomonidan belgilanadi. Bu qiymat 0, 5, 10, 15 yoki 20 dB ni tashkil etishi mumkin [1].

Attenuatorlar tomonidan kiritiladigan so'nish qiymati ± 15 foizdan, optik aks etish sathi esa -40 dB dan ortmasligi kerak. Attenuatorlarning ishchi to'lqin uzunliklari diapazoni eng ko'pi

bilan 1360 nm dan 1580 nm gachani va eng kami bilan 1200 nm dan 1480 nm gachani tashkil etishi kerak. Ularning odatiy ishchi to'liq uzunligi 1310 — 1580 nm oraliqda yotadi. Attenyuatorlarda QMDga bog'liq bo'lgan yo'qotishlar 0,3 dB dan yuqori bo'lmashligi kerak.

8.2. Optik filtrlar

Optik filtr uzatilayotgan umumiy nurlanish spektridan muayyan to'liq uzunlikli nurlanishni ajratish uchun ishlatiladigan optik element bo'lib, spektr bo'yicha zichlashtirilgan tolali optik aloqa tizimlarida undan optik tola bo'ylab tarqalayotgan turli to'liq uzunlikli optik signallar majmuini to'liq uzunligi bo'yicha alohida kanallarga ajratish maqsadida foydalaniladi.

Yarimo'tkazgichli fotoqabulqilgichlarning $\nu > \Delta W_{M.E.S/m}$ chas-totali nurlanish ta'sirida spektral tanlash xususiyatiga ega emasligini e'tiborga olsak, qo'shni optik kanallarni bartaraf etib, faqat muayyan to'liq uzunlikli kanalni uzatish imkonini beruvchi optik filtrlarning muhim ahamiyatga ega ekanligi ma'lum bo'ladi.

O'zlarining shu xususiyatlariga ko'ra optik filtrlar nafaqat alohida element sifatida, shuningdek, spektr bo'yicha zichlashtirilgan aloqa tizimlarida turli to'liq uzunlikli alohida signallarni guruhli optik signalga birlashtiruvchi multipleksorlar va bu guruhli signalni alohida signallarga ajratuvchi demultipleksorlarning asosiy tarkibiy elementi sifatida ham ishlatiladi.

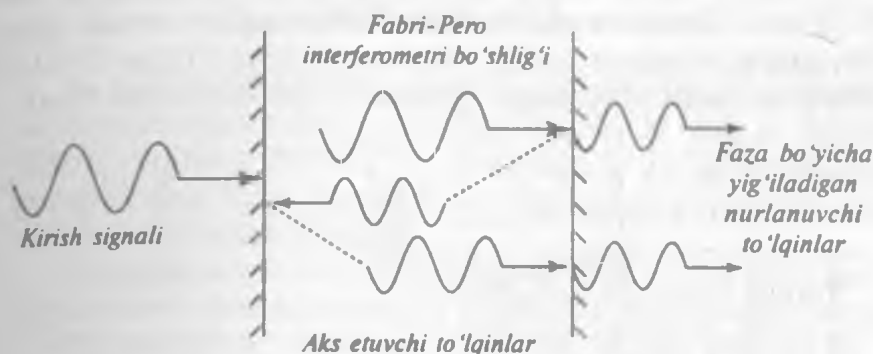
Hozirgi vaqtda optik filtrlarning bir necha turidan foydalaniladi. Quyida ularning ba'zilari haqida qisqacha to'xtalib o'tamiz.

Fabri-Pero rezonatorli filtrlar

Bu turdagi filtrlarning asosiy elementi vazifasini Fabri-Pero rezonatori o'taydi. U ichki sirti katta aks ettirish qobiliyatiga ega ikkita o'zaro parallel yassi ko'zgulardan tayyorlanadi.

Ko'zgular orasidagi masofa L ga teng va kirish yorug'lik nurlanishi chap tomondagi ko'zgu tekisligiga perpendikulyar yo'nalishda tushayotgan bo'lsin (8.1-rasm). U rezonator bo'shlig'iga kirib, qisman undan aks etadi. Aks etgan nurlanish chap tomondagi

ko'zgudan qayta aks etadi va bu jarayon ko'p martalab qaytalanadi. Agar L masofa yorug'lik nurlanishining to'lqin uzunligi λ ga karrali bo'lsa, o'ng tomondagi ko'zgudan o'tgan barcha nurlar, ular necha marta aks etgan bo'lishidan qat'iy nazar, bir xil fazali bo'ladi. Bu to'lqin uzunliklari rezonans to'lqin uzunliklari deb ataladi.



8.1-rasm. Yorug'lik nurlanishini Fabri-Pero rezonatori yordamida filtrlash

Fabri-Pero rezonatorining uzatish funksiyasi chastota σ ning davriy funksiyasi bo'lib, u quyidagi munosabat orqali ifodalanadi:

$$TF-P = [1 - A/(1 - R)]^2 / [1 + \{2R^{1/2} \sin(2\pi\tau) / (1 - R)\}^2]. \quad (8.1)$$

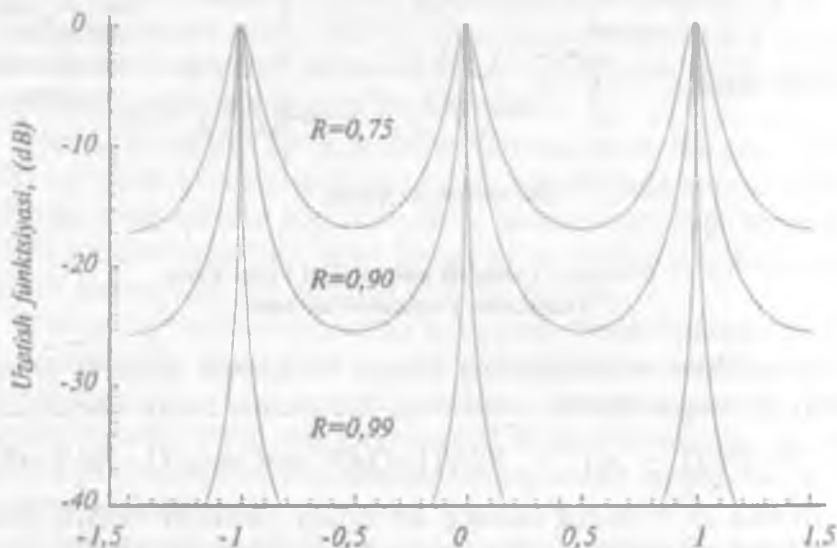
Bunda A — yorug'likning ko'zguda yutilishi tufayli sodir bo'ladigan yo'qotishlar; R — ko'zgular sirtining aks ettirish qobiliyati, τ — yorug'likning rezonator bo'shlig'i bo'yicha tarqalish vaqti.

8.2-rasmdan ko'rinadiki, Fabri-Pero filtrining xarakteristikasi taroq ko'rinishiga ega. Filtrning o'tkazish oralig'i (polosasi) $\nu = k/2\tau$ munosabatni qanoatlantiruvchi chastotalarda qaytalanadi (bunda k — musbat butun son). Filtr amplitudaviy-chastotaviy xarakteristikasining o'tish oralig'i (polosasi)dagi egriligi ko'zguning aks ettirish qobiliyati qanchalik yuqori bo'lsa, shunchalik katta bo'ladi. Agar ikki qo'shni o'tkazish oraliqlari (polosalari) orasidagi oraliqni rezonatorning erkin spektral diapazoni deb atasak, bu dipazondagi optik eltuvchilarning soni shu diapazonning Fabri-Pero rezonatorli

filtr o'tkazish oraliq'i (polosasi)ning yarimkengligiga nisbati bilan aniqlanadi:

$$N_{o.e.c.} = \pi R^{1/2}(1 - R). \quad (8.2)$$

Bu ifodada R ning qiymati $0,9+0,99$ oraliqida o'zgaradi deb hisoblasak, erkin spektral diapozondagi optik eltuvchilarning soni N 29 dan 312 tagacha qiymatga ega bo'lishi ma'lum bo'ladi. Biroq bu qiymat muayyan spektr bo'yicha zichlashtirilgan (WDM) tizimning chastotaviy oraliq'i (polosasi) bilan mos kelishi kerak.



8.2-rasm. Fabri-Pero rezonatorli filtrning uzatish funksiyasi

Fabri-Pero filtrining o'ziga xos xususiyati uni qayta sozlash imkoniyatining mavjudligidir.

Filtrni qayta sozlash uchun $\tau = nL/c$ kattalikni o'zgartirish joiz. Bunga ko'zgular orasidagi muhitning sinidirish ko'rsatkichi n ni yoki L masofani o'zgartirish orqali erishish mumkin. L masofani mexanik usul bilan o'zgartirish ko'zgularning o'zaro parallelligini buzishi mumkin. Shu sababdan ko'zgularga pyezoelektrik moda mahkamlanib, unga kuchlanish qo'yiladi. Biroq bu yechim yetarli darajada murakkab.

Fabri-Pero rezonatorli filtrlar zamonaviy spektr bo'yicha zichlashtirilgan tizimlarda unchalik keng qo'llanish topmagan bo'lsa-da, bu turdagi filtrning ish prinsipidan interferensiya hodisidan foydalanishga asoslangan yupqa pardali dielektrikli filtrlarda foydalaniladi.

Yupqa pardali dielektrik qatlamli filtrlar

Bu turdagi filtrlar Bregg fazoviy panjarali filtrlar kabi spektr bo'yicha zichlashtirilgan optik aloqa tizimlarida keng qo'llaniladi. Ularda rezonator bo'shlig'ini chegaralovchi ko'zgular vazifasini yorug'likning ko'p martalab aks etishini ta'minlovchi yupqa dielektrik qatlamlar o'ynaydi.

Yupqa pardali filtrlar ikki guruhga ajraladi: bir rezonator bo'shlig'ili va ko'p sondagi rezonator bo'shlig'ili yupqa pardali filtrlar.

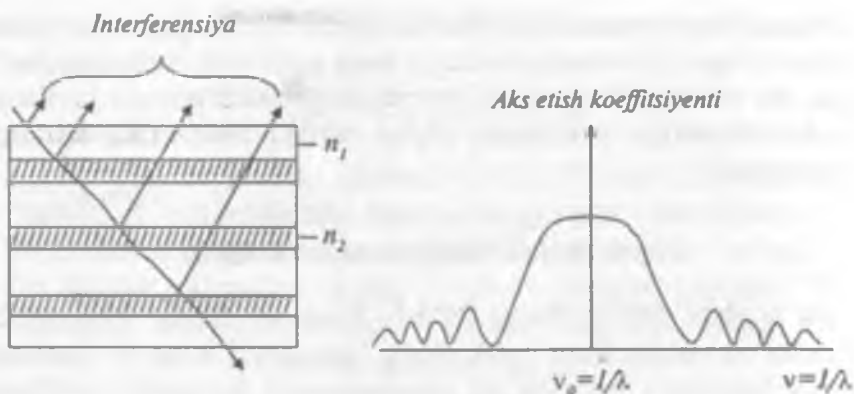
8.3-rasmda uch rezonatorli filtrning tuzilish sxemasi va ish prinsipi tasvirlangan. Muayyan qalinlikdagi turlicha sindirish ko'rsatkichiga ega bo'lgan va ustma-ust joylashgan ikki xil dielektrik qatlamlarning majmuyidan iborat bu turdagi optik elementda qatlamlarning qalinligi $d = \lambda/4$ qilib tanlab olinadi (bunda λ — ajratilishi zarur bo'lgan optik kanalning to'liq uzunligi). Bu qatlamlarga tushgan yorug'lik nurining $\alpha = \arccos(1/4)\lambda$ burchagi ostida qaytishini hisobga olsak, tushayotgan λ to'liq uzunlikli nurlanish ketma-ket joylashgan qatlamlar chegarasidan bir xil faza bilan qaytadi va yig'iladi. Nurlanishning qolgan qismi esa kuchsiz qaytadi va yutiladi.

Qatlamlar qalinligini o'zgartirib, optik filtrning o'tkazish polosasini o'zgartirish mumkin.

Fabri-Pero filtrlaridan farqli ravishda yupqa pardali filtrlar uzunligi bo'shliqning balandligiga bog'liq bo'lgan faqat bitta to'liqinni o'tkazadi va ularni qayta sozlash mumkin emas.

Suyuq kristallarda yorug'lik nurlanishi qutblanishining o'zgarishidan foydalanishga asoslangan filtrlar

Bu turdagi filtrlarning ish prinsipi suyuq kristallarning elektr maydoni ta'sirida yorug'lik nurlanishi qutblanish tekisligini



8.3-rasm. Ko'p qatlamli dielektrik tuzilishli filtrning ish prinsipi:

a – ko'p qatlamli dielektrik tuzilish; b – yorug'lik nurlanishining ikki xil sindirish ko'rsatkichli qatlamlar chegarasidan qaytish (aks etish) ko'effitsiyenti va to'lqin uzunligi orasidagi bog'lanish

o'zgartirishi xossasiga asoslangan. Bu texnologiya endigina rivojlana boshladi va hozircha takomiliga yetmagan.

Suyuq kristallar asosidagi filtrni uchta elementning majmuasi deb qarash mumkin (8.4-rasm).

Muayyan to'lqin uzunlikli yorug'likning qutblanish tekisligini 90° ga buruvchi suyuq kristalli yupqa parda yorug'likni chiziqli qutblagich va faqat qutblagich tomonidan shakllantirilgan qutblanish tekisligiga ega bo'lgan yorug'likni o'tkazadigan tahlilagich (analizator) orasiga joylashtiriladi.

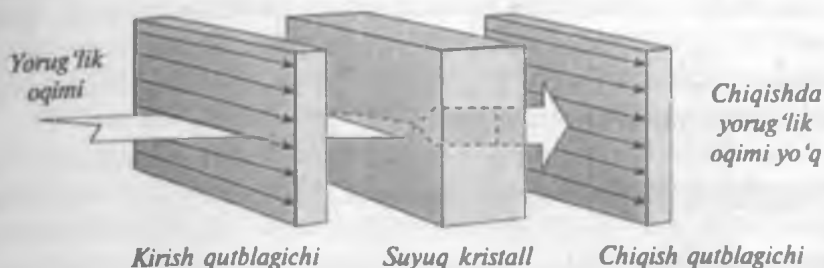
Odatdagi sharoitda suyuq kristalli yupqa parda qutblanish tekisligini 90° ga buradi va filtr muayyan to'lqin uzunliklari diapazonini o'tkazmaydi – qurilma optik izolator vazifasini o'taydi.

Kristallga ma'lum bir kuchlanish qo'yilganida, qutblanish tekisligi yana 90° ga buriladi va u tahlilagich (analizator) tekisligi bilan mos tushadi.

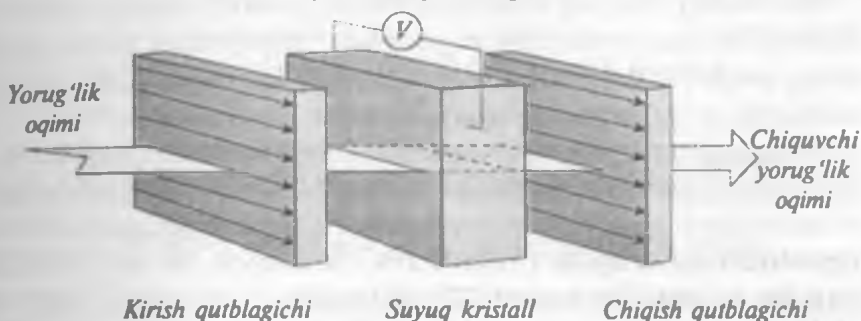
Berilgan diapazondagi yorug'lik to'lqinlari chiqishga o'tadi.

Afsuski, suyuq kristalli filtr faqat multipleksor tomonidan ishlov beriladigan optik eltuvchilar majmuasidan avvaliga ajratilishi kerak bo'lgan bitta to'lqin bo'yicha ishlaydi.

Elektr maydoni mavjud bo'lmagan hol



Elektr maydoni mavjud bo'lgan hol



8.4-rasm. Suyuq kristallarda elektr maydoni ta'sirida qutblanish tekisligining o'zgarishiga asoslangan filtrning ish jarayoni

Akustooptik qayta sozlanuvchi filtrlar

Akustooptik texnologiya qutblanish tekisligini o'zgartirishga asoslangan filtrlash texnologiyalarining eng istiqbolisi hisoblanadi. Akustooptik filtr litiy niobatidan tayyorlangan yarimo'tkazgichli kristall bo'lib, uning sirtida titanli to'lqin uzatkich shakllantiriladi. Bu kristallga akustooptik to'lqinlarning 170 – 180 MHz chastotali generator bilan boshqariladigan pyezoelektrik vibratori montaj qilinadi (8.4-rasm).

Vibrator qurilmaning markazida asosiy yorug'lik oqimiga burchak ostida joylashgan yupqa pardali akustik to'lqin uzatkich bo'yicha tarqaladigan sirtqi akustik to'lqin (SAT) hosil qiladi. Undan o'ng va chap tomonga yorug'lik oqimini qutblanish bo'yicha parchalagichlar joylashtiriladi.

Kirish parchalagichi kirish oqimini akustik to'liqin uzatkichdan o'tadigan TE (pastda) va TM (yuqorida) modalarga ajratadi. Sirtqi akustik to'liqinlar bu to'liqin uzatkichda sindirish ko'rsatkichining sinusoidal qonun bo'yicha o'zgarishini (Bregg akustik panjarasining hosil bo'lishini) yuzaga keltiradi.

Shu tariqa Bregg «akustik» difraksiyasi yoki to'liqin uzunliklaridan biriga tegishli qutblanish tekisligining 90° ga burilishiga sharoit yaratiladi. Bu to'liqin uzunligi chiqishdagi ikkinchi parchalagich tomonidan multipleksordan chiqarib olinuvchi optik eltuvchi sifatida filtrlanadi.

Bu turdagi filtrning afzalligi shundaki, u sirtqi akustik to'liqinlar manbayi bo'lgan boshqaruvchi generator chastotasini va shu tariqa Bregg panjarasi doimiysini o'zgartirish yo'li bilan filtrlash to'liqin uzunligini o'zgartirish imkonini beradi.

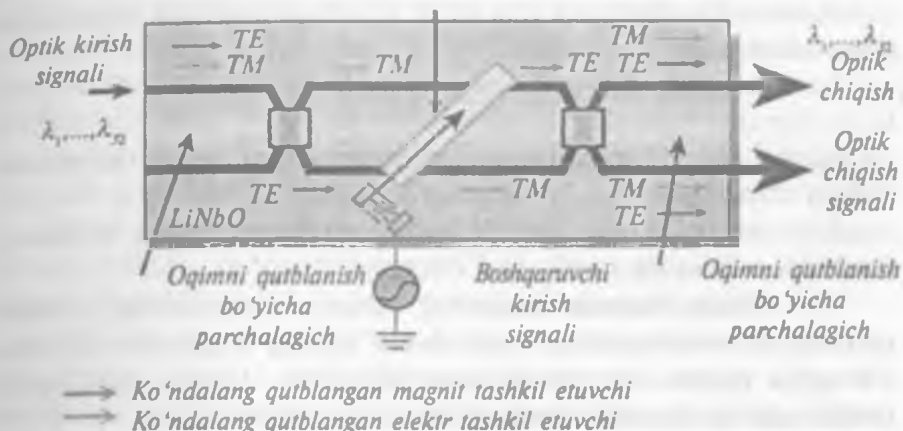
Filtrni bitta optik eltuvchi, eltuvchilar guruhi yoki barcha eltuvchilarni ajratish uchun qayta sozlash mumkin. Kiritiladigan yo'qotishlarning pastligi, iste'mol quvvatining kamligi, qayta sozlash diapazonining kengligi (3-shaffoflik darchasida 80 nm atrofida) ham bu turdagi filtrlarning afzalliklaridan hisoblanadi. Ularning ish tarzi ma'lumotlarni uzatish tezligiga bog'liq emas, qurilmaning harorat bo'yicha barqarorligi maxsus barqarorlashtiruvchi qurilmalar (stabilizatorlar) tomonidan bartaraf etiladi.

8.3. Optik izolatorlar

Optik signal tola bo'ylab tarqalish chog'ida uning nobirjinsliklaridan, ayniqsa, tolaning ulangan joylaridan aks etishi mumkin. Bunday aks etishlar natijasida nurlanish quvvatining muayyan qismi teskari yo'nalishda qaytadi. Yorug'lik manbayi sifatida lazer diodidan foydalanilgan holda aks etgan nurlanish uning rezonatoriga tushib, majburiy nurlanishlar — foydali signalga qo'shimcha tarzda zararli signallar, ya'ni shovqin ham hosil qiladi.

Ko'p sonli ajraluvchi va ajralmas ulagichlar va boshqa xil optik qurilmalar — tarmoqlagich, spektr bo'yicha zichlashtirish qurilmalari, optik kuchaytirgichlardan tarkib topgan keng polosali tarmoqlarda bunday teskari aloqa xatarli tus olib, nurlanish manbayi shovqin sathining ortishiga olib keladi.

*Siriqli akustik to'liqlaridan
foydalanishga asoslangan yupqa pardali to'liqin uzatkich*



8.5-rasm. Akustooptik qayta sozlanuvchi filtrning tuzilishi

Shu munosabat bilan optik signalning tolaning nobirjinsliklaridan aks etishini bartaraf etish zaruriyati tug'iladi. Raqamli va keng polosali optik tarmoqlarda bu zaruriyat ayniqsa muhim ahamiyat kasb etadi.

Ushbu muammo optik izolatorlar yordamida hal etiladi.

Optik izolator optik signalning mujassamlashtirgan nurlanish oqimini bir yo'nalishda deyarli yo'qotishlarsiz, boshqa (teskari) yo'nalishda esa katta so'nish bilan uzatishga mo'ljallangan optik qurilma bo'lib, u hozirgi kunda ko'pgina lazerli tizimlar va tolali optik kuchaytirgichlarning asosiy tarkibiy qurilmalaridan biri sifatida ishlatiladi. Optik izolatorlardan, shuningdek, optik aloqa liniyasi-niing alohida qurilmasi sifatida ham foydalaniladi.

Optik izolatorning ish prinsipi ayrim shaffof modalarda magnit maydoni ta'sirida sindirish ko'rsatkichining o'zgarishi natijasida yorug'lik to'liqini qutblanish tekisligining burilishi hodisasidan — *Faradey effekti*dan foydalanishga asoslangan. Bunda qutblanish tekisligining burilishi *magnitooptik modal*ar deb nomlanadigan modalarda magnit maydoni ta'sirida sindirish ko'rsatkichining vertikal va gorizontallarda turlicha bo'lib qolishi, natijada

yorug'lik elektromagnit to'liqini elektr va magnit tashkil etuvchilari tezliklarining o'zaro farqlanishi tufayli yuzaga keladi.

Qutblanish tekisligining burilish burchagi quyidagi munosabat bilan aniqlanadi:

$$\theta = VH_z d, \quad (8.1)$$

bunda H_z — magnit maydon kuchlanganligining bo'ylama tashkil etuvchisi;

d — yorug'likning shaffof moda bo'ylab tarqalish yo'lining uzunligi — *Faradey yacheykasi* o'lchami;

V — magnitooptik modaning tabiati, yorug'likning to'liqin uzunligi va atrof-muhit harorati bilan bog'liq o'zgarmas kattalik. Yorug'lik qutblanish tekisligining *solishtirma burilish burchagini* ifodalovchi bu kattalik *Verde doimiysi* deb yuritiladi.

Qutblanish tekisligi burilishining to'liqin uzunligiga bog'liqligi hodisasi *aylanma dispersiya* deb ataladi. Qutblanish tekisligining burilishi hodisasini Faradey kashf qilgani uchun ayrim hollarda optik izolatorlar Faradey izolatorlari deb ham ataladi.

Optik izolator 3 ta element — qutblagich (1), Faradey yacheykasi (2) va tahlillagich (analizator) (3) dan tarkib topadi (8.6-rasm).

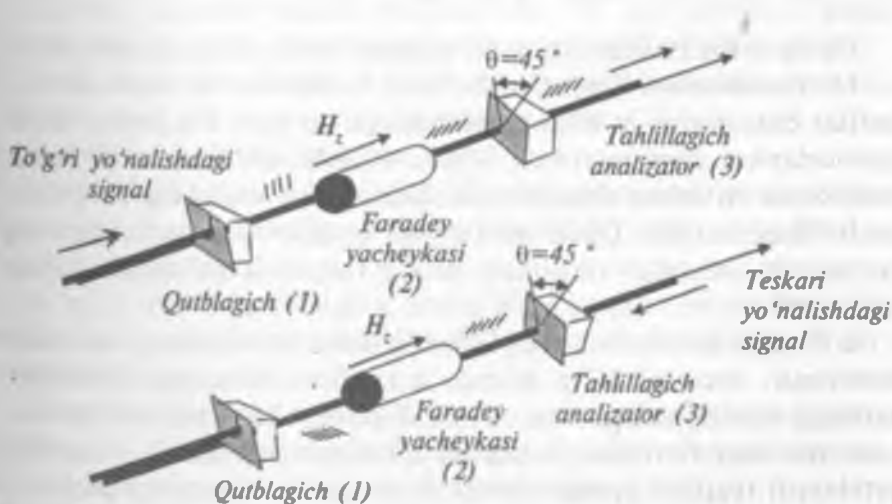
Optik izolatorning ish prinsipini quyidagicha tafsirlash mumkin.

Qutblanmagan yorug'lik nuri uning tekislik bo'yicha qutblangan tashkil etuvchisini o'tkazadigan qutblagich (1) ga yo'naltiriladi. Qutblangan nurlanish so'ngra perpendikulyar yo'nalishdagi magnit maydoniga joylashtirilgan, Verde doimiysi V ga teng bo'lgan Faradey yacheykasi o'tadi. Bu elementning chiqishida nurlanishning qutblanish tekisligi V doimiyning qiymati, elementning uzunligi va magnit maydon kuchlanganligi H ning kattaligiga bog'liq ravishda θ burchakka buriladi. Bu parametrlarning qiymati yorug'likning qutblanish tekisligi o'zining dastlabki holatiga nisbatan 45° ga buriladigan qilib tanlab olinadi. Qutblagichning qutblanish tekisligi ham shunday burchak ostida o'rnatiladi. 3-element bu holda qutblanish tekisligi qutblanish tekisligi bilan 45° ga burchak hosil qilgan tahlillagich (analizator) vazifasini o'taydi. Shu sababdan to'g'ri yo'nalishda, ya'ni qutblagichdan analizator tomon tarqalayotgan nurlanish undan to'siqlarsiz o'tadi. Agar endi

nurlanish teskari yo'nalishda, ya'ni tahlilagich (analizator)ning chiqishi tomonidan qutblagichning chiqishi tomon yuborilsa, uning tahlilagich qutblanish tekisligi bilan mos keluvchi tashkil etuvchisi u orqali o'tadi va Faradey yacheykasiga kiradi va bunda uning qutblanish tekisligi yana 45° ga buriladi. Shunday qilib, qutblagichga teskari yo'nalishda tushgan nurlanishning qutblanish tekisligi kirish nurlanishining qutblanish tekisligiga nisbatan 90° ga burilib qoladi, natijada u qutblagich orqali o'tmaydi.

Shuni takidlash joizki, optik tola bo'ylab tarqalayotgan nurlanish, odatda, qutblanmagan bo'ladi. Shu sababdan qutblagich orqali o'tganida uning quvvati yarmiga kamayadi. (3 dB).

8.6-rasmda amalda qo'llaniladigan optik izolatorning sxemasi keltirilgan. Unda 1-optik element anizotrop xossaga ega. Shu sababdan qutblanmagan nurlanish o'zaro perpendikular ikkita qutblangan nurlanishga ajraladi. Ulardan biri nurlanishning tarqalish yo'nalishiga perpendikulyar qutblanish tekisligiga (odatiy nur), ikkinchisi esa parallel qutblanish tekisligiga (noodatiy nur) ega. Bunday element vazifasini, masalan, Nikol yoki Roshon prizmalari o'tashi mumkin. Ikkala turdagi nurlanish Faradey yacheykasi (2) ga yo'naltiriladi, bu elementning chiqishida qutblanish tekisligi



8.6-rasm. Optik izolatorning tuzilish sxemasi va ish prinsipi:
a – to'g'ri yo'nalishdagi foydali optik signal undan to'siqsiz o'tadi;
b – teskari yo'nalishdagi zararli signal qutblagich orqali o'tmaydi

45° ga buriladi. Shundan so'ng, ikkala turdagi nurlanish 1-prizmaga nisbatan 45° ga burilgan 2-prizmaga yo'naltiriladi. 1- va 3-prizmalar qaytuvchanlik xususiyatiga ega bo'lganliklari uchun 4 — prizmaning chiqishidagi nurlanish qutblanmagan bo'ladi.

Agar endi nurlanishni 4–3 prizмага o'ng tomondan yo'naltirsak, u bu prizma va 2-element orqali o'tib, har bir (odatiy va noodatiy nur)ning qutblanish tekisligi 45° ga buriladi. Shu sababdan, bu ikki nur 1-elementga qutblanish tekisligi 90° ga burilgan holda yetib keladi va oqibatda 1-prizma orqali o'tmaydi.

Hozirgi vaqtda optik izolatorlarning 2-elementi, ya'ni Faradey yacheykasi temir-ittriy granati (YIG) yoki bu maqsadlar uchun yanada yaxshiroq mos keladigan material — titan II-oksidi ($\text{TiO}_2 + \text{CaSO}_3$) dan tayyorlanadi.

Zamonaviy optik izolatorlarda quvvatning to'g'ri yo'nalishdagi yo'qotishlari 1 dB dan kamroqni, teskari yo'nalishdagi yo'qotishlar esa 50 dB dan ko'proqni tashkil etadi. Konstruktiv jihatdan optik izolatorlar diametri 30...60 mm bo'lgan silindr ko'rinishda tayyorlanadi.

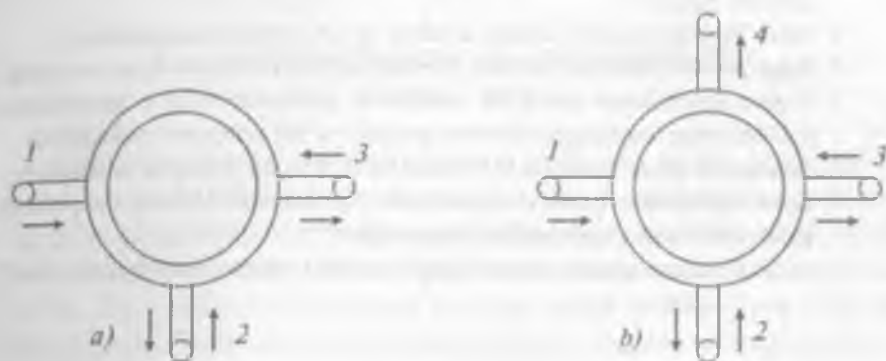
8.4. Optik sirkulatorlar

Faradey hodisasidan yana bir turdagi tolali optik qurilmalar — optik sirkulatorlarni tayyorlashda ham foydalaniladi. Optik sirkulatorlar bitta kirish va bitta chiqishga ega bo'lgan ikki portli optik izolatorlardan farqli ravishda 3 yoki 4 portli qurilma bo'lib, ular bitta kirish va ikkita chiqish yoki ikkita kirish va ikkita chiqishga ega bo'lishi mumkin. Optik tola bo'ylab tarqalayotgan nurlanishning bu portlar orasidagi taqsimoti uning tarqalish yo'nalishi bilan aniqlanadi.

8.7-rasmda 3-portli va 4-portli sirkulatorlarning sxemasi keltirilgan. Sxemasi 8.7-a rasmda keltirilgan Y-tusdagi sirkulator quyidagi xususiyatlarga ega. Unda 1-portga kiritilgan nurlanish, 2-portga boradi. Biroq 2-portga kiritilgan nurlanish 1-portga qaytmaydi, balki 3-portga boradi, 3-portga kiritilgan nurlanish 2-portga bormaydi.

8.7-b rasmda keltirilgan sxema bo'yicha tayyorlangan sirkulator quyidagi xossalarga ega: 1-portga kiritilgan nurlanish 2-portga

boradi, 2-portga kiritilgan nurlanish 3-portdan chiqadi, 3-portga kiritilgan nurlanish 4-portga boradi. 4-portga kiritilgan nurlanish 1-portga bormaydi. Boshqacha aytganda, bu turdagi sirkulator ikkiga parallel ulangan Y-tusdagi sirkulator vazifasini o'taydi.



8.7-rasm. Optik sirkulatorning sxemasi

Optik sirkulatorning ish prinsipi optik izolatorning ish prinsipiga o'xshaydi. Faqat uning tarkibiga izolatordagi elementlardan tashqari uch qirrali prizma kiritiladi.

Bu prizma nurlanishni bitta yo'nalishda to'g'ri chiziq bo'ylab yo'naltirib, qarama-qarshi yo'nalishda 90° ga buradi. Optik sirkulatorlar quyidagi xarakteristikalarga ega: yo'qotishlar qiymati $< 1,2$ dB, izolatsiya darajasi > 40 dB, kesishuvchi halaqitlar qiymati < 59 dB, teskari yo'nalishdagi qaytarishlar qiymati < 50 dB, qutblanish sezgirliigi 0,2 dB dan kam.

Foydali kirish signali qutblagich (1) orqali o'tib, gorizontaal tashkil etuvchisini bartaraf etib, o'zining vertikal tashkil etuvchisini o'zgarishsiz qoldiradi.

So'ng vertikal qutblangan yorug'lik Faradey yacheykasi (2) orqali o'tadi, qutblanish tekisligini 45° ga buradi va tahlillagich (3) orqali qarshiliksiz o'tadi.

Yorug'likning teskari yo'nalishda tarqalishida (8.6-rasm) u yana tahlillagich (3) tekisligida qutblanadi, so'ng Faradey yacheykasi (2) orqali o'tib, gorizontaal qutblangan holga keladi. Shu tariqa yorug'lik nurining qutblagich (1) o'qlari burilish burchagi 90° ni tashkil etadi, shu sababdan qutblagich (1) teskari nurlanishni o'tkazmaydi [1].

Nazorat savollari

- 1. Optik attenuator passiv elementidan qanday maqsadlarda foydalaniladi? Uning qanday turlari mavjud?*
- 2. Optik filtrlardan qanday maqsadlarda foydalaniladi? Optik filtrning qanday turlarini bilasiz?*
- 3. Fabri-Pero rezonatorli filtrning tuzilishi va ish prinsipini tushuntiring*
- 4. Yupqa pardali dielektrik qatlamli filtrning tuzilishi va ish prinsipini tavsiflang.*
- 5. Suyuq kristallarda yorug'lik nurlanishi qutblanishining o'zgarishidan foydalanishga asoslangan filtrning tuzilishi va ish prinsipini tushuntiring.*
- 6. Akustooptik qayta sozlanuvchi filtrning tuzilishi va ish prinsipini tushuntiring.*
- 7. Optik izolatordan qanday maqsadlarda foydalaniladi? Uning ish prinsipi qaysi hodisadan foydalanishga asoslangan?*
- 8. Optik sirkulator qanday asbob? Undan qanday maqsadlarda foydalaniladi?*

9-bob. OPTIK MULTIPLEKSORLAR VA DEMULTIPLEKSORLAR

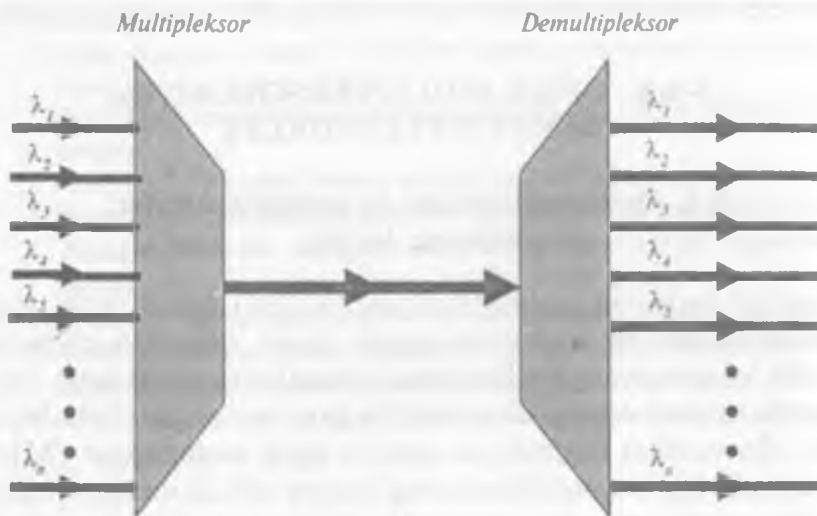
9.1. Optik multipleksor va demultipleksorlar, ularning turlari

Spektr bo'yicha zichlashtirilgan (WDM) tolali optik aloqa tizimlarida har bir uzatuvchi modul lazeri muayyan chastotali signalni generatsiyalaydi. Bu signal (kanal)larni tolali optik liniya bo'yicha uzatish uchun ularni yagona guruhliy signalga birlashtirish kerak. Bu vazifani bajaradigan qurilma **optik multipleksor (MUX)** deb ataladi. Optik aloqa liniyasining boshqa uchida shunga o'xshash qurilma guruhliy signalni axborotdan foydalanuvchilarga yetkazish maqsadida alohida signal (kanal)larga ajratib beradi va bu qurilma **optik demultipleksor** deb ataladi. Kanallarni vaqt bo'yicha zichlashtirish uchun mo'ljallangan va asosiy e'tibor uzatuvchi hamda qabul qiluvchi optoelektron modullarni sinxronlash aniqligiga qaratilgan TDM tizimlaridan farqli ravishda spektr bo'yicha zichlashtirilgan tolali optik aloqa tizimlarida alohida signallarning parametrlari avvaldan aniq ma'lum bo'lgan spektral tashkil etuvchilari bo'yicha **multiplekslanadi** va **demultiplekslanadi** (9.1-rasm).

Optik multiplekslash va demultiplekslash kombinatsiyalashgan yoki o'zaro ketma-ket joylashgan tor oraliqli (polosali) filtrlardan foydalanishga asoslanadi. Optik signallarni filtrlash uchun, jumladan, yupqa pardali filtrlar, tolali yoki bregg difraksiya panjaralari, payvandlangan tolali shaxoblagichlar, suyuq kristallar asosidagi filtrlar, integral optik qurilmalari (**fazar** deb ataladigan fazali to'lqin uzatkichli difraksiya panjaralari) dan foydalaniladi.

Multipleksorlar tolali WDM optik aloqa tizimlaridan tashqari, shuningdek, tolali optik kuchaytirgichlarda, mahalliy tarmoqlarda signallarni to'lqin uzunligi bo'yicha marshrutlash chog'ida va boshqa ayrim hollarda ham qo'llaniladi.

Multipleksorlar yig'iluvchi va ajratiluvchi optik signallar (kanallar) soniga qarab ikki guruhga bo'linadi [1]:



9.1-rasm. Spektr bo'yicha zichlashtirilgan tolali optik aloqa tizimlarida multiplekslash va demultiplekslash jarayonlari

- to'liq uzunligi bo'yicha kanallar orasidagi masofa 20 nm dan kam bo'lmagan bir necha (4 tagacha) spektral kanallarni birlashtiruvchi multipleksorlar;

- spektral kanallar orasidagi masofa 0,4, . . . , 1,6 nm oraliqda yotgan hamda 4 tadan ko'p – 8 ta, 16 ta, 32 ta va undan ko'p sonidagi kanallarni birlashtiruvchi multipleksorlar.

Hozirgi vaqtda qo'llaniladigan spektr bo'yicha zichlashtirilgan (WDM) optik aloqa tizimlarida alohida kanallar orasidagi chastotaviy oraliq 100 GHz (0,8 nm) ni tashkil etadigan optik multiplekslovchi va demultiplekslovchi qurilmalar eng keng qo'llaniladi. So'nggi yillarda yaratilgan multiplekslovchi qurilmalar 50 Hz va undan kichik chastotaviy oraliqda joylashgan kanallarni uzatishni ta'minlash imkonini beradi. Zamonaviy multipleksorlar, asosan, yupqa pardali filtrlar va biroz kamroq darajada to'liq uzatkichli difraksiya panjaralari matritsalarida hamda bregg panjaralari asosida tayyorlanadi.

Spektr bo'yicha zichlashtirilgan optik aloqa tizimlarida kanallar joylashuvi zichligini yanada oshirish, multiplekslovchi optik qurilmalarga qo'yiladigan talablarning qat'iylashuvi jarayonida foydalaniladigan texnologiyalarning turi o'zgarishi mumkin.

Quyida kanallarni to'liq uzunligi bo'yicha ajratish maqsadida eng ko'p qo'llaniladigan multiplekslovchi va demultiplekslovchi qurilmalarning tuzilishi va ish mexanizmlari haqida qisqacha to'xtalib o'tamiz.

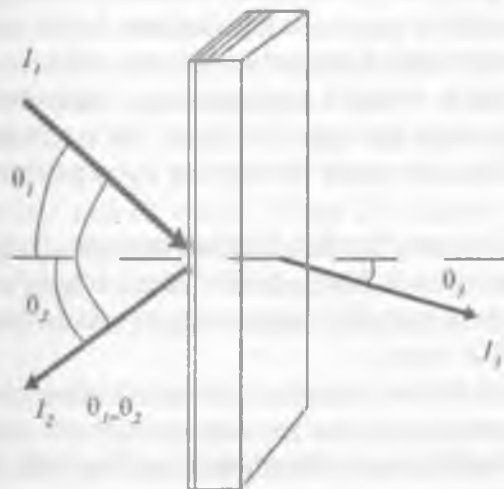
9.2. Yupqa pardali filtrlar asosidagi optik multipleksorlar/demultipleksorlar

Yupqa pardali filtrlar, avval ko'rib o'tilganidek, optik taglikka ustma-ust joylashtirilgan va sindirish ko'rsatkichi har xil bo'lgan shaffof dielektrik modaning bir necha qatlamlaridan tashkil topadi (9.2-rasm).

Sindirish ko'rsatkichlarining farqi tufayli qatlamlar orasidagi har bir ajratuvchi chegarada tushayotgan yorug'lik oqimining bir qismi orqaga qaytadi.

Qaytgan bu yorug'lik to'liq uzunligiga bog'liq ravishda interferensiya hodisasi tufayli tushayotgan yorug'lik nurlanishini kuchaytiradi yoki susaytiradi.

Sindirish ko'rsatkichi va har bir qatlam qalinligini tegishli tarzda tanlab olish yo'li bilan to'liq uzunligining istalgan diapazonini



9.2-rasm. Yupqa pardali filtrning tuzilishi va ish jarayoni:

I_1 — tushuvchi to'liq; I_2 — qaytuvchi to'liq; I_3 — o'tuvchi to'liq

o'tkazadigan va qolgan barcha to'lqin uzunliklarini qaytaradigan filtrlar tayyorlash mumkin.

Parametrlarni tanlash va dielektrik qatlamlarni olish usullari optik sanoatda yaxshi ma'lum. Yaxshi optik xossalarga ega bo'lgan ko'p modalarning fizik sifati talab darajasida bo'lmaganligi uchun dielektrik materiallarni tanlash imkoniyati cheklangan.

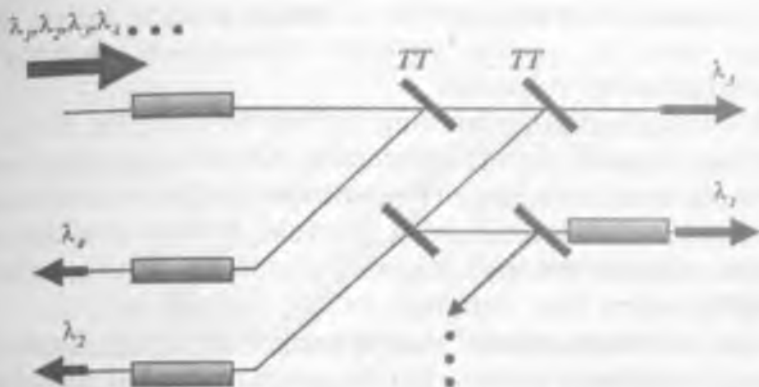
Umumiy hollarda filtrga bo'lgan talab qanchalik yuqori bo'lsa, taglikda hosil qilinadigan qatlamlarning soni shunchalik ko'p bo'ladi. Mavjud murakkabliklarga qaramay, bu texnologiya ishlab chiqarish jarayonini biroz o'zgartirib, turli maxsus spektral xossali unchalik qimmat bo'lmagan filtrlar yaratish imkonini beradi.

Bu turdagi mavjud multipleksorlarda ko'p qatlamli plastina sifatida optik tolaning $30 - 45^\circ$ burchak ostida qiya qilib yedirilgan va qatlamlar bilan qoplangan uchidan foydalaniladi. Bu turdagi multipleksorlarning asosiy texnik tafsirlari quyidagicha; ishchi to'lqin uzunliklari $1305 \pm 0,005$ nm va $1552 \pm 0,005$ nm yoki 980 nm va 1552 nm, yuz beradigan yo'qotishlar $-0,4$ dB, kesishuvchi so'nish ~ 30 dB.

Multipleksorlar va demultipleksorlarda, odatda, guruhiiy signaldan bitta kanalni ajratadigan bir pog'onali yupqa pardali filtrlardan foydalaniladi. Qaytgan yorug'lik qaytadan tizimga tushmasligi uchun filtrlar optik o'qqa qiya og'dirilgan holda joylashtiriladi. Filtrlarning bunday joylashuvi qatlamlarning effektiv qalinligini va shu tariqa o'tkazish oralig'i (polosasi)ni o'zgartiradi. Filtrlarni loyihalashda bu holatni hisobga olish zarur. Ko'p to'lqinli signallarga ishlov berish uchun bir qator filtrlarning ko'p pog'onali tizimidan foydalaniladi.

Bu turdagi filtrlarda har bir filtrdan qaytgan yorug'lik keyingi filtrning kirishiga tushadi. Natijada filtr orqali o'tgan alohida to'lqin uzunliklariga tegishli yorug'lik intensivligini tekislashtirish masalasi yuzaga keladi (9.3-rasm).

Yupqa pardali filtrlar asosidagi multipleksorlar yetarli darajada tor o'tkazish oralig'i (polosasi)ga ega va ular 16 yoki 32 kanalli zichlashtirilgan optik aloqa tizimlarida qo'llaniladi. Kanallarning bunga qaraganda zichroq joylashuviga asoslangan zamonaviy optik tizimlarda multipleksorlarni tayyorlashning boshqa xil texnologiyalaridan foydalaniladi.



9.3-rasm. Guruhiiy signalni demultipleksorlash uchun ishlatiladigan yupqa pardali filtrlarning ko'p pog'onali tizimi

9.3. Difraksiya panjaralaridan foydalanishga asoslangan optik multipleksor/demultipleksorlar

Katta tezlikli DWDM turidagi spektr bo'yicha zichlashtirilgan tolali optik aloqa tizimlarida difraksiya fazaviy panjaralaridan foydalanishga asoslangan multipleksorlar keng ishlatiladi.

Bu turdagi multipleksorlarda difraksiya fazaviy panjarasi sifatida uning **Maykelson esheloni** deb atalgan xilidan foydalaniladi. Maykelson esheloni turli xil uzunlikdagi, bir-birining ustiga qat'iy tarzda parallel qilib joylashtirilgan shaffof plastinalardan iborat bo'lib, bu plastina bir tomoni yassi, qarama-qarshi tomoni esa zinasimon tuzilishga ega bo'lgan va zinalarining o'lchamlari bir xil bo'lgan prizmani tashkil etadi. Yorug'lik nurlari prizmadan o'tib, mana shu zinalarda difraksiyalanadi. Difraksiyalanish burchagi to'lqin uzunligiga bog'liq. Tolali optik tizimlarda Maykelson eshelonli plastina vazifasini planar yoki tolali to'lqin uzatkichlar bajaradi.

Fazaviy panjaralardan foydalanishga asoslangan multipleksorlarni **to'lqin uzatkichli spektral multipleksorlar (TUSM)** yoki **to'lqin uzatkichli spektral tahlilagich (analizator)lar (TUST)** deb ataladi.

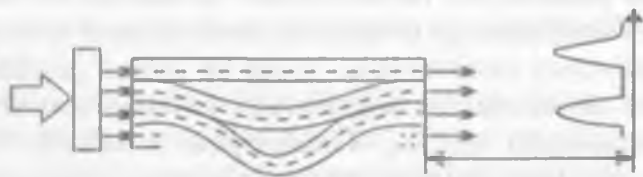
9.4-rasmda Maykelson eshelonining tolali to'lqin uzatkichli nusxasi tasvirlangan. Rasmdan ko'rinadiki, har bir yorug'lik oqimi

to'liqin uzatkichlarning barcha uchlariga tushishi kerak. Buning uchun yorug'lik oqimini yig'uvchi (fokuslovchi) maxsus optik elementlardan foydalaniladi.

9.4-rasmda multipleksorning tuzilishi ko'rsatilgan. $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ to'liqin uzunlikli alohida oqimlarning yig'indisidan iborat yorug'lik oqimi yig'uvchi elementga (1-plastinaga) tushadi va unda matritsa (Maykelson eshelonini) hosil qiluvchi to'liqin uzatkichlarning barcha uchlarida energiya taqsimoti yuz beradi. Uning chiqishida yorug'lik oqimi har birining to'liqin uzunligi $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ bo'lgan alohida oqimlarni tegishli tolalarning uchiga taqsimlovchi ikkinchi plastinaga tushadi. Barcha sanab o'tilgan elementlar kvartslarga joylashtiriladi.

Rasmdan ko'rinadiki, bunday multipleksorda energetik yo'qotishlar nurlanishni 1-va 2-to'liqin uzatkich plastinalarga kiritish yoki ulardan chiqarishda (bu plastinalarning to'liqin uzatkichlar matritsasi bilan ulangan joyida) hamda matritsani tashkil etuvchi to'liqin uzatkichlarning bukilgan joylarida ro'y beradi.

Rasmdan va tolali optik multipleksor ish mexanizmining tavsifidan ko'rinadiki, bu qurilma qaytarlik — o'zaro almashuvchanlik xossasiga ega, boshqacha aytilganida, bitta qurilmaning o'zi $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ to'liqin uzunlikli fazoviy ajratilgan yorug'lik oqimlarni bitta oqimga birlashtirish (multipleksor) yoki aksincha, bitta yorug'lik oqimini tegishli to'liqin uzunlikli alohida oqimlarga fazoviy ajratish (demultipleksor) vazifalarini bajarishi mumkin (9.5-rasm).



9.4-rasm. Maykelson eshelonining tolali turi

WDM tizimlari uchun tolali optik multipleksorlar bir qator horijiy firmalar tomonidan ishlab chiqariladi. 9.1-jadvalda NEL firmasi (Yaponiya) tomonidan, 9.2-jadvalda esa ECI TELECOM Ltd PROPRIATY firmasi tomonidan ishlab chiqilgan multipleksorlarning asosiy texnik ko'rsatkichlari keltirilgan [8].



9.5-rasm. Tolali optik multipleksorning tuzilishi

9.1-jadval

NEL firmasi tomonidan ishlab chiqilgan 32 kanalli
multipleksorning texnik parametrlari

Parametrlarning nomi	Parametrlarning kattaligi	Izoh
To'liq uzunliklar diapazoni	1500.....1600 nm	Aniqligi $\pm 0,05$ nm
Kanallar soni	8, 16, 24, 32, 40, 48	
Kanallararo oraliq	0,4; 0,8; 1,6 nm (50; 100; 200 Hz)	ITUT tavsiyasiga muvofiq
Kiritilgan yo'qotishlar	6 dan 9 db gacha	Spektral chiziqlarning 3 dBlik sathida
Kesishuvchi yo'qotishlar	< -30 dB	
Qutblanish bilan bog'liq yo'qotishlar	<0,5 dB	3 db lik sathda
Harorat ta'siridagi o'zgarishlar	0,011 nm/grad	

**ECI TELECOM Ltd PROPRIATY firmasi tomonidan ishlab chiqilgan
multipleksorlarning asosiy texnik ko'rsatkichlari**

Multipleksorlarning turlari va parametrlarining nomi	WM		STAR			
	8 kanalli	16 kanalli	8 kanalli	16 kanalli	32 kanalli	40 kanalli
Kiritiluvshi yo'qotishlar, dB undan katta emas	4,5	7,55	9,5	-12,5	16	7
Multipleksor va demultipleksor uchun umumiy yo'qotishlar, dB undan katta emas	7	14	14	20	29	30
Aks etishdagi yo'qotishlar, dB undan ko'p emas	-45	-45	-40	-40	-35	-35
Kesishuvchi yo'qotishlar, dB undan ko'p emas	-55	-55	-60	-60	-35	-35

9.4. Tolali bregg panjaralari asosidagi multipleksorlar

Tolali bregg panjaralari mohiyat e'tibori bilan optik tolada hosil qilingan interferometrdir. Ba'zi bir element atomlari (odatda, germaniy elementi atomlari) bilan legirlangan optik tola ultrabinafsha yorug'lik ta'sirida o'z sindirish ko'rsatkichini o'zgartiradi. Agar bunday tola muayyan fazoviy davriy tarkibli ultrabinafsha nurlanish bilan yoritilsa, u o'ziga xos difraksiya panjarasiga aylanadi. Boshqacha aytganda, bu tola oldindan berilgan diapazonli to'lqin uzunliklarini deyarli to'liq qaytarib, boshqa to'lqin uzunlikli yorug'likni o'tkazadi (9.6-rasm).

Agar mazkur tuzilma mukammal darajada davriy bo'lmay, uning sindirish ko'rsatkichi o'zgarish davri monoton tarzda ortsa yoki kamaysa, davri chiziqli qonun bo'yicha o'zgaradigan difraksiya panjarasi hosil bo'ladi.

Bunday panjaralar xromatik dispersiyani kompensatsiyalash uchun ishlatiladi.

Muntazam bregg panjarali tola asosidagi filtrning markaziy to'liqin uzunligi uning davri bilan aniqlanadi. Panjaraning o'tkazish oraliq'i (polosasi) uning uzunligiga teskari proporsional bo'ladi. Bu har ikkala parametrlar haroratga bog'liq bo'ladi. Shu sababdan bu turdagi filtrlar termostatga yoki haroratni nazoratlash imkonini beradigan boshqa qurilmaga joylashtiriladi.



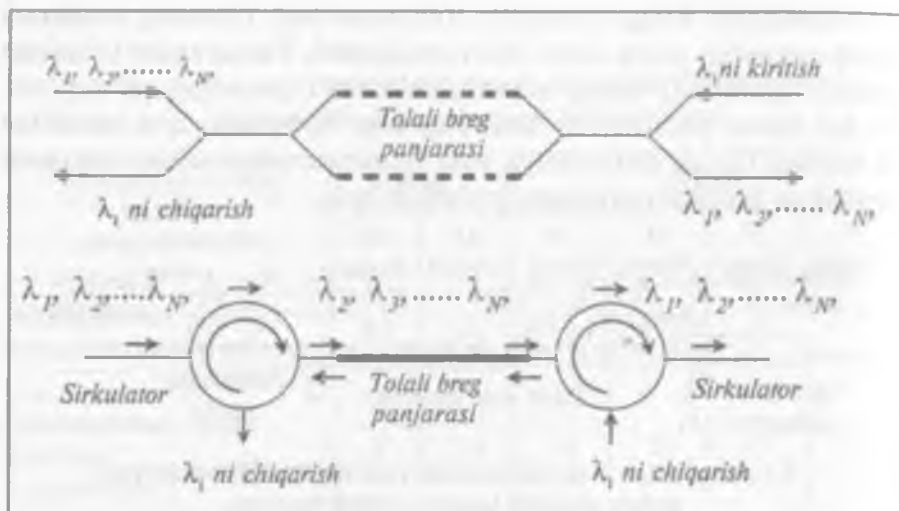
9.6-rasm. Tolali bregg panjarasida guruhliy signaldan muayyan to'liqin uzunlikli kanalni ajratish jarayoni.

Tolali bregg panjarasidan multiplekslash va demultiplekslash qurilmalarida optik filtr sifatida xromatik dispersiyani kompensatsiyalash maqsadida yoki sirkulator bilan birgalikda signallarni kanallarga kiritish yoki ulardan chiqarish multipleksorlarida foydalaniladi.

Chunonchi, tolali bregg panjaralaridan ikkita sirkulator bilan birgalikda kanallarni kirituvchi va chiqaruvchi multipleksorlarda foydalanish mumkin. Ular alohida tarzda spektr bo'yicha yuqori darajada zichlashtirilgan (DWDM) optik aloqa tizimlarida kamdankam hollarda ishlatiladi. Kanalni chiqarish portida sirkulator qaytgan to'liqinni ajratadi va chiqish portiga yo'naltiradi (9.7-rasmning chap tomoni). Kirish portida sirkulator uzatiladigan guruhliy signalga o'sha to'liqin uzunlikli avval chiqarilgan kanalni qo'shadi (9.7-rasmning o'ng tomoni).

Bunday qurilmalar ko'pincha magistral kanal va shahar yoki mintaqaviy tarmoq chegarasida ishlatiladi. Magistral kanalda, odatda, to'liqin uzunliklarining soni juda ko'p, shu vaqtning o'zida shahar va mintaqaviy tarmoqlarda ularning soni nisbatan kam bo'ladi.

Tolali bregg panjaralaridan keyingi vaqtda multiplekslovchi va demultiplekslovchi qurilmalarda Max-Tsender interferometrlari va boshqa turdagi filtrlar bilan birgalikda foydalaniladi.



9.7-rasm. Tolali bregg panjarasidan kanallarni kiritish va chiqarish uchun foydalanish

Yuqorida ko'rib chiqilgan optik kanallarni tor oraliq (polosa)li filtrlash texnologiyasi multiplekslash va demultiplekslash bilan bir qatorda, shuningdek, EDFA optik old kuchaytirgichlarning spektrini tekislash, to'liqinli qurilmalarda to'liqin uzunligini barqarorlashtirish maqsadlarida ishlatiladi.

9.5. Optik multipleksor/demultipleksorlardan foydalanishga oid ayrim masalalar

Shuni ta'kidlash joizki, spektr bo'yicha zichlashtirilgan WDM tizimlarida har bir spektral kanal juda tor chastotalar yoki to'liqin uzunliklari (50 GHz dan yoki 0,4 nm dan kam) oralig'ini tashkil etadi. Shu sababdan, nafaqat nurlanish chastotasi, shuningdek, selektiv (tanlash xususiyatiga ega) optik elementlar chastotaviy xarakteristikalarining barqarorligiga ham katta talablar qo'yiladi.

Yuqorida keltirilgan 9.1- jadvalda boshqa xarakteristikalar qatorida qayta sozlash chastotasining haroratga bog'liqligini ifodalovchi kattalik ham keltirilgan (0,011 nm/grad). Bundan ko'rinadiki, agar multipleksor harorati 20....40° C ga o'zgarsa, uning qayta sozlash

chastotasi 0,2....0,4 nm ga, ya'ni kanallar oralig'i darajasida o'zgaradi va bu hol spektr bo'yicha zichlashtirilgan WDM tizimining ishdan chiqishiga olib keladi.

Bu holatning oldini olish uchun multipleksor haroratini barqarorlashtirish choralari ko'riladi. Haroratni barqarorlashtirish usuliga qarab, multipleksorlar «issiq» va «sovuq» turlarga ajraladi.

Isitkich va harorat o'lchagichi (termorezistor) bilan ta'minlangan «issiq» multipleksorlarda harorat $\pm 1^{\circ}\text{C}$ aniqlik bilan 100°C sathida ushlab turiladi. Bu holatga erishish uchun 5 V li o'zgarmas kuchlanishli, iste'mol quvvati 5 W ga teng elektr ta'minoti talab etiladi.

«Sovuq» multipleksorlarda harorat 25°C darajada ushlab turiladi. Buning uchun 5 V o'zgarmas tok kuchlanishi va 5 W iste'mol quvvatiga ega Pelte elementidan iborat mikrosovitchdan foydalaniladi.

Multipleksor/demultipleksorlar haroratini avtomatik tarzda barqarorlashtirib beruvchi elektron sxemalar va qurilmalar ham mavjud.

Yuqoridagi bayondan ko'rinadiki, multipleksor/demultipleksorlar garchi passiv elementlar bo'lsa-da, ularni normal tarzda ishlatish uchun elektr ta'minoti talab etiladi.

9.6. Tolali optik aloqa tizimlarida invers multipleksorlash

Optik tola bo'ylab keng polosali signallarni juda uzoq masofalarga (1000 km va undan ortiqqa) uzatishda ularning tolada so'nishi va dispersiylanishini hisobga olishga to'g'ri keladi. So'nish oqibatlarini oraliq tugunlarga qo'yilgan optik kuchaytirgich (EDFA)lar yordamida bartaraf etish mumkin.

Dispersiyani ham maxsus usullar yordamida ma'lum bir chegaralarda kompensatsiyalash mumkin. Bundan tashqari, optik kuchaytirgichlar qo'shimcha shovqin kiritadi. Ikki optik signaldan shovqin va dispersiya ta'siriga kichikroq chastota bilan modulyatsiyalangani kamroq beriladi.

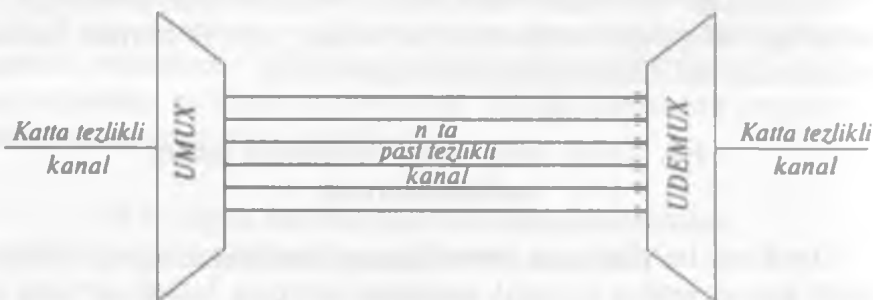
Hozirgi vaqtda 10/100 Gbit/s tezlikli shahar optik magistralining loyihalari ishlab chiqilmoqda. Keng polosali

signalni bunday katta o'tkazish qobiliyatiga ega bo'lgan tarmoqlar orqali uzatishning yagona yo'li uni bir qancha past tezlikli kanallarga ajratishdir.

Natijada katta uzunlikli liniyalarda ko'plab to'liqin uzunliklari orqali mujassamlangan multipleks signal optik kuchaytirgichlar tomonidan kiritiladigan shovqinlar va dispersiya ta'siriga bardoshliroq bo'lib qoladi.

Shunday qilib, mavjud telekommunikatsiya tarmoqlarida yagona bitta kanalga joylashmaydigan keng polosali signalni uzatish uchun invers multiplekslash usulidan foydalaniladi. Masalan, sig'imi 384 kbit/s videokonferensiya signalini 64 kbit/s sig'imli kanal bo'yicha uzatib bo'lmaydi.

U holda bu signal alohida tashkil etuvchilarga ajratilib, 6 ta shunday kanallarga joylashtiriladi va kanalning boshqa uchida qaytadan yig'iladi. Invers multiplekslash, shuningdek, magistral tarmoqning oraliq tugunlaridagi multipleksorlar berilgan, masalan 64 kbit/s dan ortiq, sig'imga ishlov beraolmagan hollarda foydalaniladi.



9.8-rasm. Invers multipleksorlash jarayoni

Xulosa

Ushbu bobda bayon etilganlardan xulosa qilib aytish mumkinki, multipleksor/demultipleksorlar turli to'liqin uzunlikli yoki to'liqin uzunliklari diapozonidagi signallarni bitta optik tola bo'yicha birlashtirish yoki, aksincha, bitta tola bo'yicha uzatilayotgan turli to'liqin uzunlikli signallarni muayyan to'liqin uzunlikli alohida signallarga ajratish uchun qo'llaniladigan passiv optik qurilmalar

bo'lib, ular ko'p sonli axborotlar oqimini bitta tolali optik liniya bo'yicha uzoq masofalarga uzatishning iqtisodiy jihatdan samarali yechimiga erishish imkonini beradi.

Nazorat savollari

1. *Multipleksor/demultipleksorlarga tavsif bering. Ulardan qanday maqsadlarda foydalaniladi?*
2. *Multipleksor/demultipleksorlar qaysi turdagi filtrlar asosida tayyorlanadi?*
3. *Multipleksor/demultipleksorlarning qanday turlari mavjud?*
4. *Yupqa pardali dielektrikli multipleksorlarning tuzilishi va ish mexanizmini tushuntiring.*
5. *Yupqa pardali dielektrikli multipleksorlardan qanday maqsadlarda foydalaniladi?*
6. *Difraksiya panjarali multipleksorning ish mexanizmini tushuntiring.*
7. *Maykelson eshelonli multipleksorning tuzilishi va ish mexanizmini tushuntiring.*
8. *Bregg panjarasili multipleksorning tuzilishi va ish mexanizmini tushuntiring.*
9. *Difraksiya panjarali multipleksorlardan qanday maqsadlarda foydalaniladi?*
10. *Hozirda qo'llanilayotgan multipleksor/demultipleksorlarning parametrlarini tavsiflang.*
11. *Multipleksor/demultipleksorlarning parametrlarini barqarorlashtirish uchun qanday choralar ko'riladi?*
12. *Invers multipleksorlashning mohiyatini tushuntiring.*

10-bob. OPTIK KOMMUTATORLAR

10.1. Asosiy tushunchalar

Elektron element bazasining borgan sari kichiklashib borayotgani hisobiga elektron komponentlarning unumdorligi oshib bormoqda.

Elektron komponentlar o'lchamining kichrayib borish: chegarasiga yetib qoldi va elektr kommutatsiya tizimlarining yagona muqobili optik kommutatsiya tizimlari hisoblanadi.

Optik kommutator — bu ma'lum to'lqin uzunligidagi yorug'lik impulslari shaklida taqdim etilgan signallar kommutatoridir [1].

Optik kommutator — tolali optik telekommunikatsiya tarmoqlarining muhim elementlaridan biri bo'lib, u telekommunikatsiya tarmoqlarining optik signallarni o'ta yuqori tezliklarda uzatish qobiliyatida ishlashiga imkon beradi va signallarning yo'nalishlari (marshrutlari) uchun o'zgaruvchan platformani ta'minlaydi.

To'lqin uzunligi bo'yicha multipleksirlash va α -kommutatsiya (to'lqin uzunliklari kommutatsiyasi) bir-biri bilan juda yaqin bog'liq. Signallar kommutatsiyasi tizimida va DWDM agregat oqimida har bir to'lqin uzunligi o'tishdagi halaqitlarni iloji boricha kamaytirish uchun qo'shni to'lqin uzunliklaridan aniq ajratilishi kerak.

Optik aloqa tizimlarining servislariga kirish imkoni bo'lishi bilan mijozlar bazasini ancha oshirish va transport trafigiga bo'lgan talabning o'sishi ko'zda tutiladi. Shu paytgacha keng polosali elektron kross-kommutatorlar tarmoqda trafikni taqdim etish talablarini qanoatlantirar edi, biroq bu tizimlarning murakkabligi va ularning kommutatsiya matritsalarining o'lchamlari aslida imkoni bor chegarasiga yetdi.

Optik kross — kommutatorlar trafikni yuklash darajasi yuqori bo'lgan elektron raqamli kross — kommutatorlarning o'lchamlarini va murakkabligini kamaytirishi va marshrutlashtirishni to'lqin uzunliklari darajasida amalga oshirishi mumkin.

Signallar STM 1 ga qaraganda yuqoriroq darajada marshrutlashtirilishi va optik darajada samarali ishlov berilishi mumkin. Optik matritsa haqiqatda, elektron matritsaga nisbatan kam quvvat iste'mol qiladi, yuqoriroq tezlikda ulaydi va katta hajmdagi trafiklarga kichikroq murakkablikda ishlov beradi.

Optik kommutator telekommunikatsiya tarmoqlarining yuqori unumdorligini, tarmoqning yaxshi ishlashini, xizmat ko'rsatish qiymatining pastligi va optik darajada signallarni marshrutlashtirish yo'llarini ta'minlaydi. Bu imkoniyatlar telekommunikatsiya sohasida elektron raqamli kommutatsiyaning murakkab va qimmat tizimlarini zarurligini yo'qotishga yordam beradi.

10.2. Optik kommutatorlarning asosiy vazifalari

Optik kommutatorlar tarmoqda bir qancha asosiy vazifalarni bajaradi [2]:

- tashish (transportirovka) — bir portdan boshqasiga optik signal polosasi, chastotalar polosasi yoki alohida to'lqin kanallarini kommutatsiyalash;

- tiklash — tolali-optik kabellarning ishdan chiqqan komponentlarini yoki uzilishlarini chetlab o'tish imkoniyati.

Tarmoqli testlash va boshqarish — sinov asboblari da masalan, vaqt bo'yicha ajratish qobiliyatiga ega optik reflektorlarda kommutatsiyalanuvchi elementlar uzoqdagi bo'g'inlarda tolali — optik kabellarning to'plamini tekshirish uchun yoki trafikning faolligini uning o'tishini buzmaydigan usul bilan nazorat qilish uchun foydalaniladi.

10.3. Optik kommutatorlarning asosiy parametrlari

Kommutatorlar quyidagi parametrlar bilan tavsiflanadi [3]:

- «o'chirilgan» rejimida «ulangan» rejimiga nisbatan chiqishda kommutatsiyalanuvchi signalning susayish koeffitsiyenti (kommutatorning turiga bog'liq holda 40 — 50 dB dan 10 — 15 dB gacha o'zgartirilishi mumkin);

- kommutator tomonidan kiritilayotgan yo'qotishlar — kommutator tomonidan vujudga keltiriladigan signalning susayishi;

- o'tish o'chishi – kerakli chiqishda signal quvvatining qolgan barcha chiqishlardagi signallar quvvatiga nisbati;
- polarizatsion yo'qotishlar – kommutatsiyalanuvchi signalning polarizatsiyasi (qutblantirilishi) natijasida vujudga keltiriluvchi susayishi (kuchsizlanishi).

10.4. Optik kommutatorlarning asosiy turlari

Ishlab chiqarish texnologiyasiga ko'ra kommutatorlarning quyidagi turlari farq qilinadi [4]:

1. Mexanik optik kommutatorlar.

Kirish optik portlaridan optik tolalar ulangan chiqish optik portlariga yorug'lik oqimini kommutatsiyalovchi elementning ko'chishidan foydalanadi. Bunday kommutatsiyalovchi element sifatida optik to'lqin elitkich (volnovod) ning aylanuvchi kesmasi, prizma yoki yo'naltirilgan yulduzsimon tarmoqlagich bo'lishi mumkin [3].

2. Elektrooptik kommutatorlar.

Kommutatorlarning bu turi qo'yilgan kuchlanish ta'sirida aloqa koeffitsiyentining o'zgarishi hisobiga chiqish portlarining birida yorug'lik oqimini fokuslash uchun yo'naltirilgan tarmoqlagichlardan foydalanadi.

3. Akustooptik kommutatorlar.

Akustik to'lqinlarda yorug'lik difraksiyasi asosida fotoelastiklik effekti yotadi muhit sindirish ko'rsatkichining elastik kuchlanishlar ta'sirida o'zgarishi. Bu effekt oqibatida optik shaffof muhitda tarqalayotgan akustik to'lqin vaqt va makonda davriy bo'lgan muhit sindirish ko'rsatkichi n ning g'alayonlanishini vujudga keltiradi.

Yorug'lik uchun bunday muhit tovush tezligi r bilan ko'chuvchi fazoviy difraksion panjarani tashkil etadi. Yorug'lik akustik maydon orqali o'tib, sindirish ko'rsatkichi nobirjinsliliklarida difraksiyalanadi. Bunda tovush to'lqini chastotasining o'zgarishi bilan yorug'lik to'lqinining tushish burchagiga nisbatan og'ish burchagi (difraksiya) o'zgaradi. Bu holat yorug'lik to'lqinlari tarqalishi yo'nalishini boshqarishga imkon beradi.

4. Termooptik kommutatorlar.

Ularning ishlashi sindirish ko'rsatkichining harorat ta'sirida o'zgarishi hodisasiga asoslangan.

5. Yarimo'tkazgichli optik kuchaytirgichlar asosidagi optoelektron kommutatorlar. Kommutatsiya mexanizmini boshqaruvchi sifatida siljish kuchlanishidan foydalaniladi. Siljish kuchlanishi kichik bo'lganda kirish signali kuchaytirgich tomonidan yutiladi — «uzilgan» holati yuzaga keladi. Kuchlanish ortganda signalning normal kuchayishi tiklanadi — «ulangan» holati yuzaga keladi.

6. Integral aktiv to'lqin elitkich kommutatorlar. Bunday kommutator uning uchun tanlab olingan topologik sxemasiga mos keluvchi kommutatorning yagona bo'g'iniga tizimning ayrim elementlarini bog'lovchi, yarimo'tkazgichli optik kuchaytirgichlar va optik to'lqin elitkich qurilmalardan tashkil topgan optoelektron integral sxemadan iborat.

7. Ko'p qatlamli yorug'lik elituvchi suyuq kristall matritsali kommutatorlar. Mazkur turdagi kommutatorlar suyuq kristallarning qo'yilgan boshqaruvchi kuchlanishning ta'sirida shaffof (yorug'lik o'tkazuvchi) yoki noshoffof bo'lish qobilyatidan foydalanadi.

8. Mikroko'zgular massivi asosidagi kommutator mikroko'zgular massivi (matritsasi)ni boshqaruvchi mikroelektromexanik tizim (MEMS) dan iborat bo'lib, uning diametrlari millimetrdan kamdir.

Har bir mikroko'zgu mustaqil harakatlanadi, bu ma'lum bir qayd qilingan burchakka buriluvchi va qaytgan nurni chiqish portiga kommutatsiyalovchi aylanuvchi yassi ko'zgudir [5]. 2 D sistemalarda matrisa bitta (kvadrat), ko'zgular matritsa tekisligida yotadi. 3 D MEMS kommutatorlari 2 D ga nisbatan ancha o'zgaruvchan va mashtablanuvchan bo'ladi va ko'p miqdordagi kommutatsiyalanuvchi nurlarni ta'minlaydi, biroq ular ancha murakkab. Optoelektron kros-konnektorlarga nisbatan MEMS 3 D optik kommutatorlar 30 marta kam hajmni egallaydi va taxminan 100 marta kam energiya iste'mol qiladi. Biroq qurilmalarning bu turi kamchiliklarga ham ega, birinchi navbatda — tez ishlashi past va vibratsiyalarga sezgir [6].

9. Golografik kommutatorlar 2000-yillarda paydo bo'ldi. Ularni ishlab chiqaruvchi yagona kompaniya — Trellis Photovics. Biroq faqat ulargina 3 D EMS turidagi ancha mukammal kommutatorlar bilan raqobatlashishlari mumkin. Golografiya — manbaning to'lqin maydonini qayd etish hodisasidir (odatda, 3 o'lchovli optik muhitlarda). Bunday kommutatorni yaratish uchun ma'lum sharoitlarda

(kuchlanish berilganda) u orqali o'tayotgan ma'lum to'lqin uzunligidagi yorug'lik signalini ma'lum chiqishga o'tqazishga (yoki o'tkazmaslikka) imkon beradigan, ularda manbalarning to'lqinlari bilan yozilgan (golografik 3 o'lchovli Bregg difraksion panjaralari bilan) golografik kristallar matritsasidan foydalaniladi [3].

10. Foton kristalli kommutatorlar. Foton kristallar — ma'lum bir chastotali diapazondagi yorug'likning tarqalishiga to'sqinlik qiladigan taqiqlovchi zonaga ega bo'lgan davriy dielektrik tuzilmalar. Bunday kristallda nuqtali va chiziqli nuqsonlarni yaratib (tabiiy rezonans bo'shliqlar) optik elituvchining taqiqlangan zona orqali (tonnel effektidan foydalanib) «tonnel» o'tkazishini va eltuvchining bir ichki kanaldan boshqasiga kommutatsiyalanishini amalga oshirish mumkin [3].

Foton kristallar tabiatda mavjud bo'lmagan metamateriallarga kiradi, lekin ular laboratoriya sharoitida yaratilishi mumkin [7].

10.1-rasmda foton kristallar asosidagi optik kommutatorning baza bloki gipotetik tizimi keltirilgan.

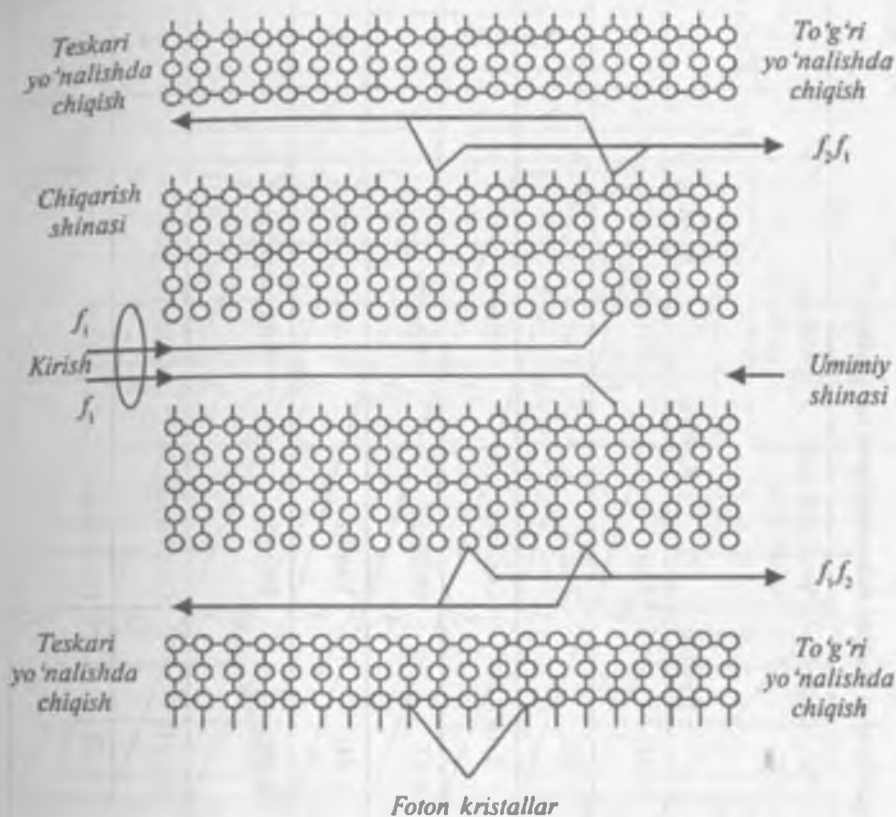
Sxema uchta optik to'lqin elitkichlar shinalardan iborat: markazdagi umumiy shina va ikki tomondagi chiqarish shinalari, ular o'zaro optik rezonatlar sistemasi bilan bog'langan (har bir tomonda 2 yoki 4 tadan rezonans bo'shliq). Umumiy shinada to'g'ri yo'nalishida tarqaladigan optik to'lqin rezonans tekislikda ma'lum tebranishlar moddasini qo'zg'atadi, ular o'zaro ta'sir natijasida to'g'ri va teskari yo'nalishida tarqalib, rezonans tekislikda chiqarish shinasiga o'tadi (to'g'ri yo'nalishda chiqish va teskari yo'nalishida chiqish tushunchasini shakllantiradi) [3].

Optik kommutatorlarning mavjud imkoniyatlarining tahlili 10.1-jadvalda taqdim etilgan, unda kommutatorlarning barcha turlari uchun reyting raqami qo'yilgan va bu reytinglar yig'indisiga ko'ra har bir kommutator turining reytingi aniqlangan [7].

Reyting jadvalidan ko'rinadiki, mutiservisli raqamli aloqa tarmoqlari uchun eng afzali foton kristallaridagi kommutatorlar hisoblanadi [6].

10.2-rasmda mavjud optik kommutatorlarning umumiy tasnifi ko'rsatilgan.

Foton kommutatorlarni ishlab chiqish telekommunikatsiya sohasida faoliyat yuritayotgan yetakchi kompaniyalari, jumladan,



10.1 - rasm. Foton kristallar asosidagi baza elementining gipotetik sxemasi

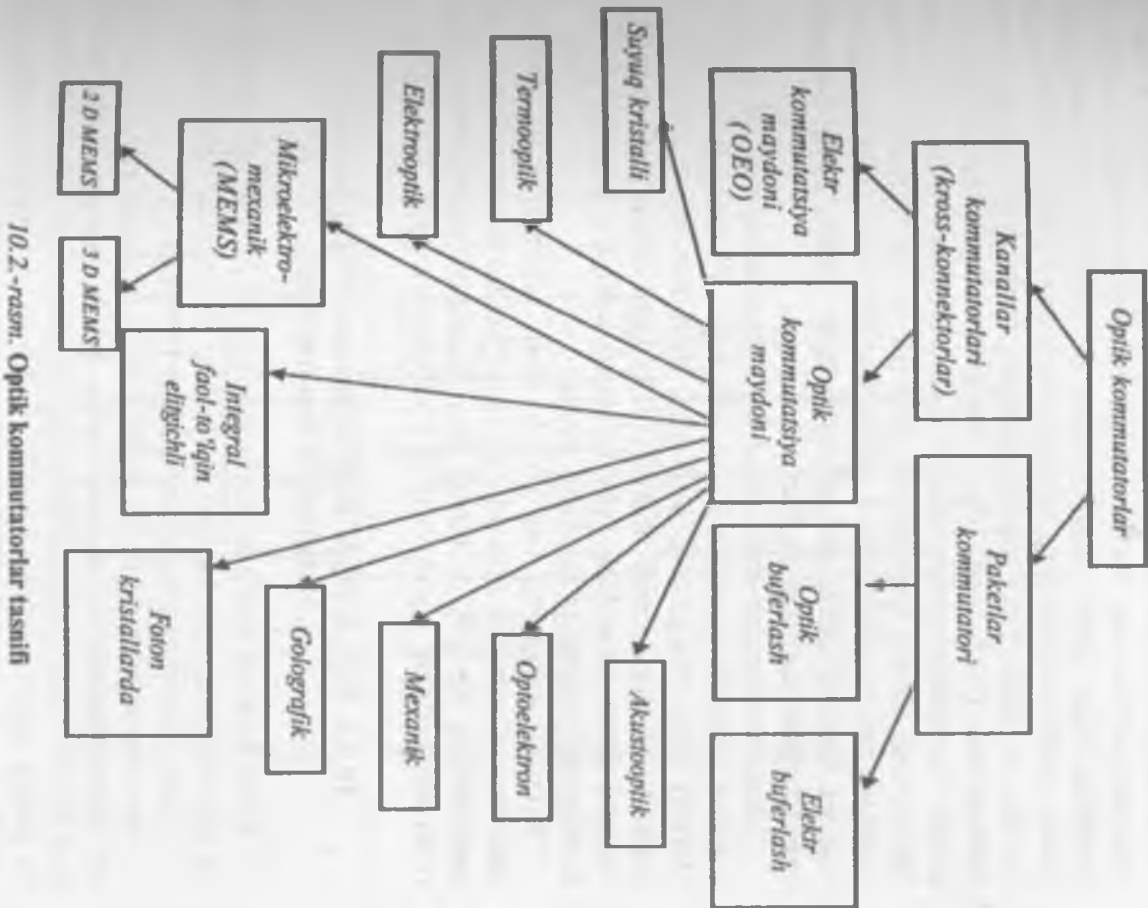
Agilent Technologies, Nortel Network, Lument Technologies va Corning kabi kompaniyalar tomonidan olib borilmoqda. Bu qurilmalarni ishlab chiqish eng ustuvor (birinchi navbatda amalga oshirilishi zarur bo'lgan) masala hisoblanadi [8].

10.5. Katta o'lchamli optik kommutatorlarning tuzilishi

Katta o'lchamdagi kommutatorlarni qurishda 2×2 yoki $1 \times 2 / 2 \times 1$ tayanch perekluchatellarini kiskodlashning turli xil texnologiyalaridan foydalaniladi. Katta kommutatorlarni o'zaro kom-

Optik kommutatorlarning mavjud imkoniyatlarini taqqoslash

Parametrlar	Axborot toqimlarini qayta ulash vaqti	Yo'qotishlar, dB	Yashovchanlik, sifatli baho	Axborot xavfsizligi	Σ r	Reyting
Turli texnolo- giyadagi OK	Reyting	Reyting	Reyting	Reyting		
Mikroelektromexanik (MEMS)	<15 ms 7	2 dB 3	Past 4	O'rtacha 3	17	6
Optomexanik	0,1-1s 8	2 dB 3	Past 4	Past 4	19	7
Elektrooptik	10 ms 6	3-5 dB 5	O'rtacha 3	O'rtacha 3	17	6
Termooptik	10 ms 6	4 dB 4	O'rtacha 3	O'rtacha 3	16	5
Suyuq kristallik	<300 ms 4	2 dB 3	Yuqori 2	Yuqori 2	11	4
Golografik (Breyeg panjarasidagi kommutatorlar)	<100 ms 3	2 dB 3	Yuqori 2	O'rta yuqori 1	9	3
Akustooptik	500ns-10 mks 2	1,5 dB 2	O'ta yuqori 2	O'ta yuqori 2	7	2
Foton kristallaridagi kommutatorlar	1ns-100ps 1	<1dB 1	O'rta yuqori 1	Yuqori 1	4	1



10.2.-rasm. Optik kommutatorlar tasnifi

mutatsiyalanuvchi aloqa tarmoq (KAT) bilan bog'langan kirish va chiqish portlarining tartibli to'plamlari ko'rinishida ifodalash mumkin. Agar qarab chiqilayotgan kommutatorlar paketlarning emas, balki zanjirlarning kommutatsiyasini amalga oshirayotgan bo'lsa, u holda KAT markazlashgan boshqarish tizimi orqali boshqariladi (10.3-rasm). Agar ular paketlar yoki virtual konteynerlar kommutatsiyasi amalga oshirilayotgan bo'lsa, u holda boshqarish sxema taqsimlagan bo'lishi va qo'shimcha ravishda kirishida va chiqishida buferlarning har xil turlari, ichki blokirovkalarni bartaraf qilish uchun navbatlarni tashkil etish sxemalari foydalanilishi mumkin va h.k. [3].

Kommutatorning konstruksiyasini kommutatsiya elementlari miqdori bo'yicha baholash uchun uni $\log_2 (M)$ ning quyi chegarasi (limiti) bilan taqqoslash mumkin. Kommutator ma'lum o'rin almashtirish algoritmiga muvofiq kirishlarni chiqishlarga yo'naltiradigan qayta o'rnatkich kabi ishlagani uchun u kamida M turli konfiguratsiyalarni ta'minlashi kerak.

Kommutatsiyaning har bir elementi ikkita har xil konfiguratsiyani ta'minlashi mumkin bo'lgani uchun kommutatsion elementlarning $\log_2 (M)$ minimal soni M ta turli marshrutlarni yoki o'rin almashtirish algoritmlarini konfiguratsiyalashi kerak [9].

10.5.1. Ko'p kaskadli optik kommutatorlarning funksional yaroqliligi va samaradorligi

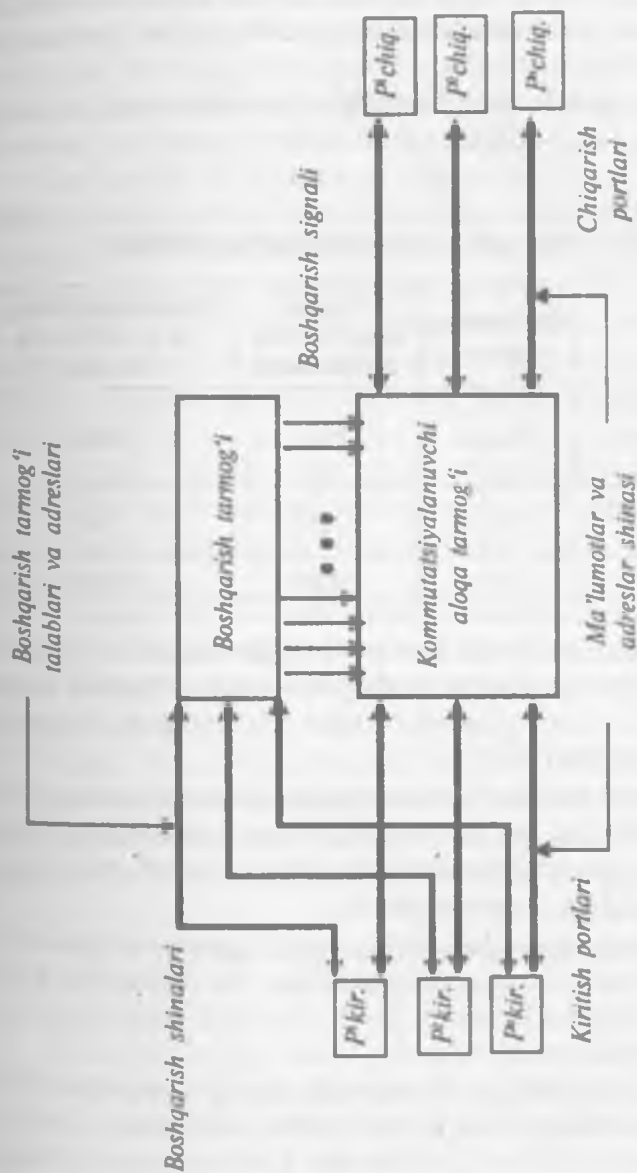
Ko'p kaskadli optik kommutatorlarning funksional yaroqliligi va samaradorligi quyidagi ko'rsatkichlar yordamida baholanadi:

Talab etilayotgan baza elementlari (BE) soni.

Kommutatsiyaning bir jinsliligi kirish-chiqish portlarining turli xil kombinatsiyalarini birlashtiruvchi optik yo'ldagi baza perek-luchatellari (uzgich-ulagichlari)ning maksimal va minimal sonlari va ularga mos kommutatsiyadagi maksimal va minimal yo'qotish baholari.

Bog'lovchi to'lqin elitkichlarning kesishuvchanligi.

Blokirovka tavsiflari, ya'ni ko'p kaskadli optik kommutatorning ikki sinfi: to'suvchi (blokirovkalovchi) yoki to'smaydigan (blokirovkalamaydigan) dan biriga taalluqli ekanligi.



10.3-rasm. Kot li va markazlashgan boshqaruvli kommutatorning blok-sxemasi

Agar har qanday band bo'lmagan kirish porti istalgan foydalanilmayotgan chiqish porti bilan ulanish mumkin bo'lsa, u holda kommutator blokirovka qilmaydigan (to'smaydigan) kommutator deyiladi, aks holda (ya'ni, agar birorta ulanish amalga oshirilishi mumkin bo'lmasa) kommutator blokirovkalovchi (to'suvchi) deyiladi.

O'z navbatida blokirovka qilmaydigan kommutatorlar quyidagi turlarga bo'linadi (10.2-jadval):

10.2-jadval

Blokirovka qilmaydigan kommutatorlarning afzalliklari

Turi	Qurilmaning qiymati	Ulanish algoritmining murakkabligi	Mavjud ulanishlarga ta'sir ko'rsatish darajasi
Jiddiy ma'noda blokirovka qilmaydigan (to'smaydigan)	Yuqori	Past	Past
Keng ma'noda to'smaydigan	O'rtacha	Yuqori	Past
Qayta tuziluvchi	Past	Yuqori	Yuqori

– qat'iy (jiddiy) ma'noda blokirovka qilmaydigan kommutatorlar, ya'ni ulanishning istalgan tadbiridan foydalanilganda birorta ulanishning qayta marshrutlanishini talab etmaydigan blokirovka qilmaydigan kommutatorlar;

– keng ma'noda blokirovka qilmaydigan kommutatorlar, ya'ni ulanishni o'rnatishning ma'lum algoritmidan foydalanishda biror mavjud ulanishning qayta marshrutlashtirilishini talab etmaydigan blokirovka qilmaydigan kommutatorlar;

– qayta tuzilmaydigan blokirovka qilmaydigan kommutatorlar, ya'ni har qanday holda ham avval o'rnatilgan ulanishlarning biror-tasining qayta marshrutlanishini talab etadigan blokirovka qilmaydigan kommutatorlar.

Birinchi turi eng ma'quli hisoblanadi, biroq u amalga oshirishida eng ko'p sondagi baza elementlarini talab etadi. Ikkinchi tur birinchi va uchinchi tur o'rtasida ma'lum murosali turi hisoblanadi va juda keng qo'llaniladi. Kommutatorlarning oxirgi, uchinchi

turining afzalligi talab qilinayotgan baza elementlari sonining nisbatan kamligidir. Uning asosiy kamchiligi — o'rnatilgan ulanishning vaqtincha (qayta marshrutlash vaqtida) uzilishidir.

Blokirovkalash (to'sish) omili, shubhasiz kommutatsiya texnologiyasining ekspluatatsion xarakteristikalarining baholash jihatlaridan birini aks ettiradi, biroq undan tashqari shunga o'xshash boshqa omillar ham mavjud bo'lib, ular ham ko'rib chiqishga arziydi. Bunday omillarga quyidagilar kiradi [2]:

Tuzilmalilik. Kommutator to'lqin kanallari yoki tolali — optik kabellar darajasida ishlanishini aniqlash juda muhim. Kommutatsiya tezligi. Optik tarmoqlardagi ulanish tezliklari iyerarxiyasida ulanish tezliklarining to'rtta darajasi farq qilinadi [3]:

- past — uzib-ulanish vaqti taxminan millisekund, bunday kommutatorlar qurilmani avtomatik konfiguratsiya-rekonfiguratsiya qilish, masalan ishdan chiqqan blokni aylanib o'tish uchun foydalaniladi;

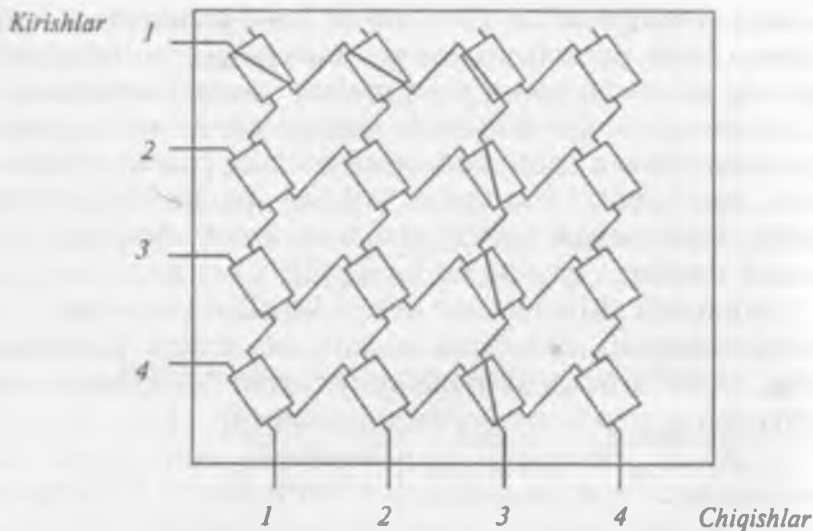
- o'rta — ulash-uzish vaqti mikrosekund atrofida halqalarni himoyaviy uzib-ulashda yoki tarmoq trafigini bir optik toladan ikkinchisiga kommutatsiyalab, tarmoqlarda muqobil marshrutlarda qo'llaniladi;

- yuqori — uzib-ulash vaqti nanosekund atrofida, ma'lumotlar oqimini kommutatsiyalash uchun foydalaniladi, bunda uzib-ulash vaqti ishlov berilayotgan paketning o'tish vaqtidan ancha kichik bo'lishi kerak;

- juda yuqori — uzib-ulash vaqti pikosekund atrofida, bunday kommutatorlar yorug'lik oqimini bit ma'lumotlar oqimi bilan tashqi modulyatsiyalash uchun zarur bo'lib, bunda uzib-ulash vaqti bitta bitli interval davomiyligidan bir tartibga kichik bo'lishi kerak.

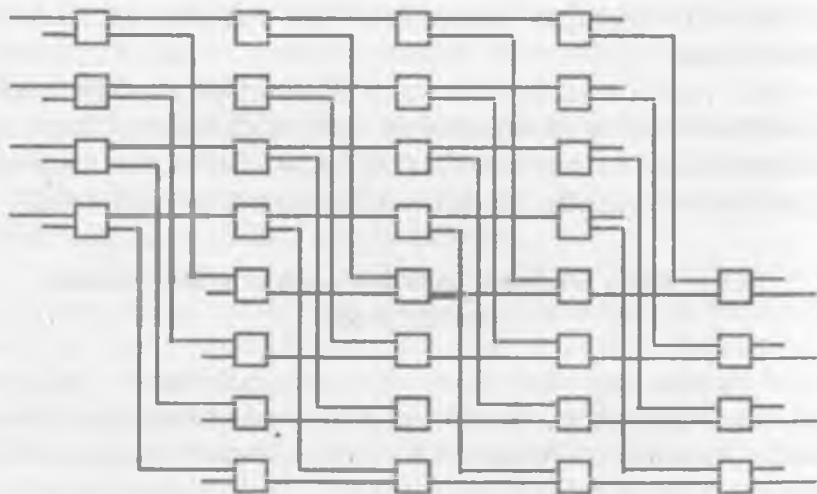
10.5.2. Katta o'lchamli optik kommutatorlarning tuzilish arxitekturas

10.4-rasmda eng oddiy kommutatsion arxitektura — matritsali kommutator keltirilgan. Sxema keng ma'noda blokirovka qilmaydigan hisoblanadi, ya'ni agar i kirishni j chiqish bilan ulashning kononik qoidalaridan foydalanilsa, demak, u o'rnatilgan ulanishlarni qayta marshrutlanishini talab etmaydi [10].



10.4.-rasm. Matritsali kommutator sxemasi

Optik yo'lda BE sonini kamaytirish uchun, demak, mos ravishda, quvvat yo'qotilishi va kesishma halaqitlarni kamaytirish uchun ikkilangan matritsa arxitekturasini taklif etilgan edi (10.5-rasm) [9].



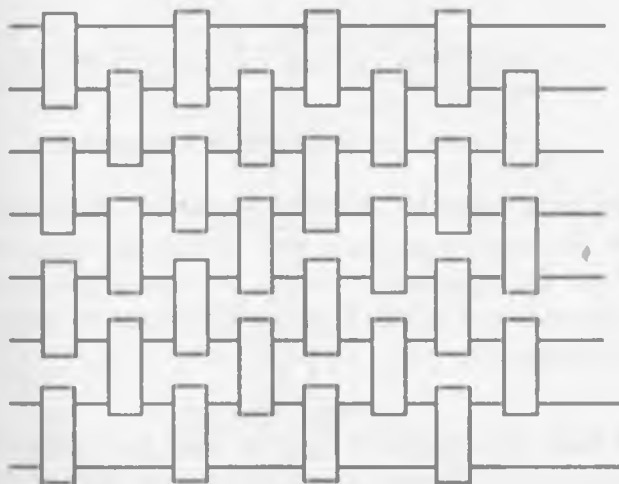
10.5-rasm. Karrali matritsa sxemasi

Karrali matritsa o'zaro ta'siri arxitekturasiga muvofiq u kommutatsiyani quyidagicha boshqarishiga ega bo'lishi mumkin. Agar kirish porti i chiqish porti k bilan ulangan bo'lsa, ulanish avval kirish porti i dan ustun j ga tomon $[(i-j) \bmod (N+1)] = K$ bo'ladigan qilib o'tadi.

Shundan so'ng u pastki matritsa tomon suriladi va to'g'ri k portiga boradi.

Turli xil (i, k) juftlar turli j ga ega bo'lganligi uchun kommutator jiddiy ma'noda blokirovka qilmaydigan bo'ladi.

Boshqa ko'p kaskadli arxitektura – tekislikni klanar arxitektura (10.6-rasm) kesishishlarga ega emas, shuning uchun ham yo'naltirilgan tarmoqlagichlardan qilingan optik kommutatorlar uchun jozibalidir.

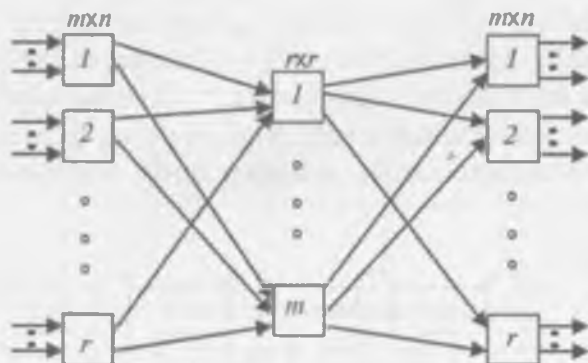


10.6-rasm. 8-o'lchamli N -tekislikli planar kommutator

U $N(N-1)/2$ kommutatsion elementlardan iborat (bittali matritsa uchun zarur bo'lganining yarmidan kam – N^2), kirish va chiqish portlari orasidagi yo'l N ta kommutatsion elementdan iborat (karrali matritsadan yaxshiroq, unda bu yo'l $N+1$ ga teng). Biroq N – tekislikli planar kommutator keng ma'noda blokirovka qilmaydigan hisoblanadi. U blokirovka qilmaydigan qayta tuziladigan bo'ladi.

Kommutatsion elementlar sonini pasaytirish va nol blokirovkani ta'minlash maqsadida Kloza kommutatoridan foydalanishi mumkin.

Uch tekislikli fazoviy kommutatorning sxemasi 10.7-rasmda ko'rsatilgan, u yerda o'lchamdagi r ta kommutator birinchi tekislikda, o'lchamdagi m ta kommutator ikkinchi tekislikda va o'lchamdagi r ta kommutator uchinchi tekislikda.



10.7-rasm. Uch tekislikli fazoviy kommutator

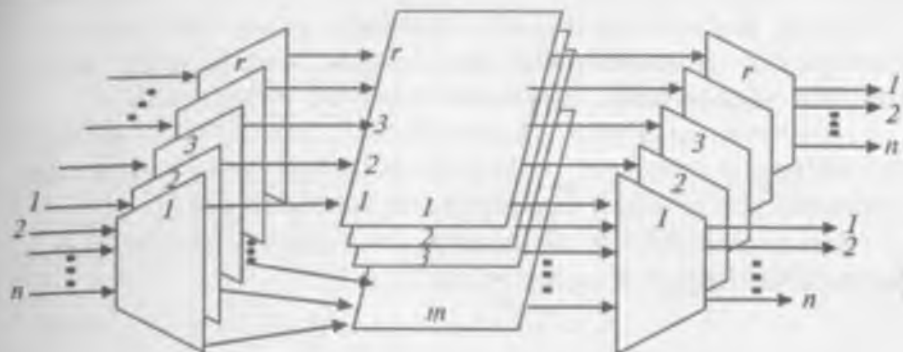
Bunday uch tekislikli $N \times N$ kommutator (bunda $N = nr$) faqat $2mN + mr^2$ BE dan iborat. Agar $n = r$ bo'lsa, BE ning umumiy soni $3mN$ bo'ladi. Bu agar $3m < N$ bo'lsa, N^2 dan ancha kam. Kloz uch tekislikli kommutator uchun ichki blokirovkalar yo'qligining kafolati shartini aniqladi [9]:

$$m \geq 2n - 1.$$

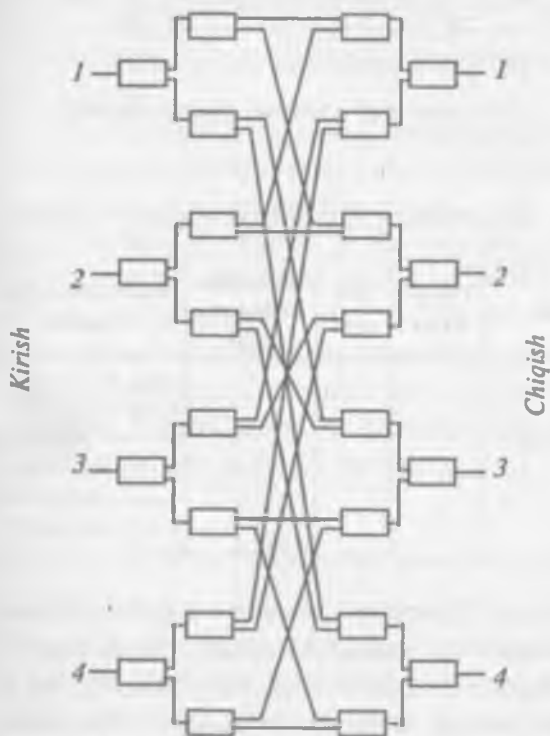
Biroq Kloz kommutatori agar m soni juda katta bo'lsa, ko'p kesishishlarga ega. Shuning uchun ham u yo'naltirilgan tarmoqlanishlardan qilingan foton kommutatorlar uchun jozibali emas. Muammo 10.8-rasmda ko'rsatilgandek, kommutatorlar 3D amalga oshirish vositasida hal qilinishi mumkin.

Agar qayta o'zgaruvchi blokirovka qilinmaslikka yo'l qo'yilsa, u holda o'rtacha kommutatorlar soni kamaytirilishi mumkin. Kloz kommutatori, agar $m \geq n$ bo'lsa, qayta tuziluvchi, blokirovka qilinmaydigan bo'ladi.

Jiddiy ma'noda blokirovka qilinmaydigan sxemalarga Shpenkening sxemasi misol bo'ladi (10.9-rasm).



10.8-rasm. Klozning uch tekislikli kommutatorning
uch fazali o'zaro ta'siri

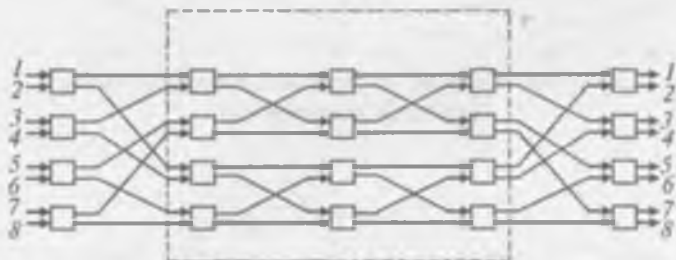


10.9-rasm. Shpenkening KSS sxemasi

Jiddiy ma'noda blokirovka qilmaslik uchun haq matritsali kommutator sxemasidagidan ham ko'proq foydalanilgan. BE lar soni hisoblanadi, biroq foydalaniladigan BE turlari sodda.

10.10-rasmda Benesh kommutatori rekursiv uch tekislikli arxitekturasini ko'rsatilgan, unda o'rtacha tekislik ikkita boshqa yarim o'lchamli uch tekislikli Benesh kommutatoridan iborat.

Kes arxitekturalari turlarining tavsiflarini taqqoslash 10.3.-jadvalda keltirilgan, bunda $p = \log_2 N$.



10.10-rasm. 8x8 o'lchamli Benesh tarmog'i

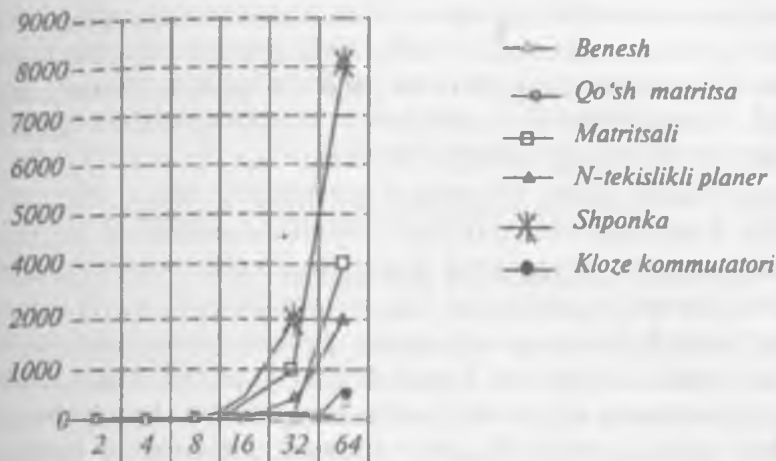
10.3 -jadval

Kes arxitekturalari turlarining qiyosiy tavsiflari

Arxitektura	Tekisliklar	BE soni	BE ning maksimal soni	Blokirovka qilinmaslik	Kesishmalar
Matritsali Qo'sh matritsa N-tekislikli planer Kloz Benesh Shpenke				keng ma'noda keng ma'noda qayta o'zgaruvchi jiddiy ma'noda qayta o'zgaruvchi jiddiy ma'noda	yo'q bor yo'q 3D da yo'q bor

Shunday qilib, Shpenke sxemasi va qo'sh (karrali) matritsa juda ko'p sondagi baza (tayanch) elementlariga ega (10.11-rasm).

Ularining blokirovka qilinmasligi (to'silmasligi) va kirish hamda chiqish portlari orasiga o'rnatilgan istgan yo'lda baza elementlari soni bir xil bo'lishi ularning afzalligi hisoblanadi. Bu sxemalarning kamchiligi kesishmalarining mavjudligidir, bu esa tarmoqlagichlar bazasida optik kommutatorlarni yasashda yo'l qo'yib bo'lmaydi,



10.11-rasm. BE sonining portlar miqdoriga bog'liqligi.

biroq fotonli kristallardan tayyorlangan kommutatorlar uchun cheklanish hisoblanadi.

Matritsali kommutatorning afzalligi kesishmalarning mavjud emasligidir, biroq baza elementlar soni juda ko'p va o'rnatilayotgan yo'lda baza elementlari miqdori doimiy emas.

10.11-rasmda ko'rinadiki, Kloze va Benesh sxemalari minimal miqdordagi baza elementlariga ega bo'lib, ularning soni pastki chegara $\log_2(M)$ ga yaqinlashadi.

Kloze sxemasi qat'iy blokirovka qilinmaydigan hisoblanadi, uni 3D da amalga oshirish esa kesishmalarda qutulishiga imkon beradi. Shunday qilib, Kloze kommutatori va Benesh kommutatori optik kross-konnektlar uchun eng jozibali hisoblanadi.

Xulosa

Optik aloqa tarmoqlarida kommutatsiyaning ikkala turi: kanallar kommutatsiyasi va paketlar kommutatsiyasi foydalaniladi. Kanallar kommutatsiyasida kommutatsiya konfiguratsiyasining oldindan aniqlangani uchun kommutatsiyani nazorat qilish soddalashtirilishi mumkin va uni real vaqtda amalga oshirishning zarurati yo'q.

Mana shuning uchun ham kanallar kommutatsiyasi uzatish tezliklari yuqori bo'lgan optik aloqada, asosan, afzalroqdir.

Paketlar kommutatsiyasida uzatish tezliklarining ortishi bilan paketlar uzunligi kamayadi. Natijada, kommutatsiya konfiguratsiyasini o'zgartirish tezligiga talab ham qat'iyroq bo'la boshlaydi. Masalan, kommutator katta bo'lganda, kommutatsiya tezligi ichki ishga sig'imi bilan chegaralangan bo'ladi.

Blokirovkalar qilish ehtimolini pasaytirish uchun buferlash-tirishdan foydalanuvchi paketlar kommutatorlarining ko'pgina konstruksiyalaridan foydalanish fotonli kommutatsiyada qiyinchilik tug'diradi. Fotonlar elektronlar kabi «saqlanib» qololmaydi (chunki fotonlar tinchlik massasiga ega emas). Fotonlar buferlashtirilishini faqat tutib qolish chiziqlarini kiritish vositasida tashkil etish mumkin. Natijada blokirovka qilish ehtimolini pasaytirish uchun buferlash-tirishdan foydalanuvchi paketlar kommutatorlarining ko'pgina konstruksiyalaridan foydalanish foton kommutatsiyasida qiyinchilik tug'diradi.

Fotonli kommutatsiya kanallarni fazoviy bo'lish va vaqt bo'yicha bo'lish (ajratish) bilan to'liq uzunligi hamda qutblanish turi bo'yicha amalga oshirilishi mumkin. Kommutatsiyaning bu barcha turlari va ularning kombinatsiyalari mantiqiy ekvivalent bo'lishi mumkin.

Shunday qilib, bugungi kunga kelib mavjud bo'lgan optik kommutatorlarni yo'qotishlar ko'rsatkichlari, yashovchanligi, axborot xavfsizligi va uzib-ulash tezligi bo'yicha tayyorlash texnologiyalaridan fotonli kristallardagi kommutatorlar yetakchilik qilmoqda.

Nazorat savollari

1. *Optik kommutator qanday passiv element?*
2. *Optik kommutatorlarning asosiy vazifalarini aytib bering.*
3. *Optik kommutatorlarning qanday asosiy parametrlarini bilasiz?*
4. *Optik kommutatorlarning qanday turlarini bilasiz?*
5. *Optik kommutatorlarning afzalliklari va kamchiliklarini aytib bering.*
6. *Katta o'lchamdagi optik kommutatorlarning tuzilish xususiyatlari qanday?*

Foydalanilgan adabiyotlar

1. *Иванов А.Б. Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения, — М.: Компания SAYRUS SYSTEMS, 1999. — 487 с.*
2. *Слепов Н.Н. Оптическое мультиплексирование с разделением по длине волны. — Сети, 1999, № 4, с.24 — 31.*

3. Слепов Н.Н. Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи. — М.: Радио и связь, 2000. — 268 с.

4. Волоконно-оптическая техника: Современные состояния и перспективы. — 2-е изд., перераб. и доп. / Сб. статей под ред. Дмитриева С.А. и Слепова Н.Н. — М.: ООО «Волоконно-оптическая техника», 2005. — 576 с.

5. Убайдуллаев Р.Р. Волоконно-оптические сети. — М.: Экотрендз, 2000.

6. Черемискин И.В., Чехлова Т.К. Волноводные оптические системы спектрального мультиплексирования. Электросвязь №2, 2000.

7. Montgomery Jeff D. Optical evolutions — Telecommunications, 2000, Feb., p.101 — 103.

8. Скляров О.К. Современные волоконно-оптические системы передачи. Аппаратура и элементы — М.: SOLON — R, 2001. — 340 с.

9. Слепов Н.Н. Оптические мультиплексоры ввода и вывода. Электроника: Наука, Технология, Бизнес. №1, 2001. с. 40 — 43.

10. Авниш Бансал. Технология оптической коммутации. LightWave Russian Edition № 2, 2006.

11. Бородай П.Н. Принципы построения оптических коммутаторов. Информация и космос, № 4, 2006.

12. Леонид Бараш. МЭМС в оптических сетях. 11 апреля 2006 г., <http://itc.ua/node/23945/>

13. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 3-е изд. — СПб.: Питер, 2008. — 958 с.: ил.

14. Присяжнюк С.П. Фотонные коммутаторы — будущее мультисервисных цифровых сетей связи. Информация и Космос, № 3, 2006 г.

15. Балгаар Т.Б. Коннекторы для кабельной системы ЦОД. // Вестник связи, № 6, 2009, стр 23–27.

16. Скляров О.К. Волоконно-оптические сети и системы связи. Учебное пособие, 2-ое издание, стер - СПб. Изд-во «Лань», 2010. 272 с.

17. Григорьев В.А., Ситило А.А. Разъемные оптические соединители для контрольно-измерительной техники.// Электросвязь, № 6, 2011, стр 48–49.

4-bo'lim

TOLALI OPTIK ALOQA TIZIMLARINING LINIYA TRAKTI

11-bob. Raqamli tolali optik aloqa tizimlarining liniya trakti

Optik nurlanishni berilgan to'liq uzunligida uzatuvchi va kabledagi so'nishlarni, yo'qotishlarni, dispersiya tufayli buzilgan signallarni to'g'rilashni, berilgan shovqindan himoyalanganlikni ta'minlovchi optik aloqa liniyasining texnik qurilmalar yig'indisi optik liniya trakti deb ataladi.

Optik signallar tola bo'ylab uzatilganda yorug'lik nuri optik tola materialida yutilishi va sochilib ketishidan so'nadi. Dispersiya esa signalning spektral va moda tashkil etuvchilarining vaqt bo'yicha sochilib ketishi, ya'ni ularni turli vaqtlarda tarqalishiga olib keladi. Dispersiya tufayli optik signal impulslarining davomiyligi va ko'rinishi o'zgaradi, impulslar kengayib ketadi.

Bu holatlarning hammasi optik tolali uzatish tizimlarining retranslyatorsiz uchastkasining maksimal uzunligini chegaralaydi. Agar uzatkich va qabul qilgich orasidagi ruxsat etilgan maksimal uzunlik oshirilsa, u holda liniya traktining oraliq stansiyalarida bir yoki bir necha retranslyatorlarni joylashtirish kerak.

TOA liniyalari bo'ylab signallarning uzatish sifati minimal ruxsat etilgan signal-shovqin nisbati yoki shovqindan himoyalanganlik bilan baholanadi. Raqamli uzatish tizimlari analog uzatish tizimlariga qaraganda bir qancha afzalliklarga ega bo'lganligi sababli, raqamli TOATning shovqindan himoyalanganligi 20 – 25 dBq dan, analog uzatish tizimlari uchun esa 50 – 60 dBq dan kam bo'lmasligi talab etiladi. Elektr kabelli tizimlarning liniya traktidan farqli ravishda optik tizimlarning uzatish tezligi juda ham katta. Bu optik eltuvchilarni nihoyatda yuqori chastotaga (10^{15} Hz gacha) egaligi bilan tushuntiriladi. Optik kabellarda so'nish juda kichikligi ($\lambda=1,55$ mkm da $\alpha=0,2$ dB/km gacha) sababli regenerators orasidagi masofa 100 km gacha bo'lishi mumkin. Bu optik liniya traktining afzallik tomonlaridan biridir.

11.1. Raqamli tolali optik aloqa tizimlarining liniya traktida qo'llaniladigan asosiy qurilmalar. Retranslyatorlar, ularning turlari: regenerator va optik kuchaytirgichlar

Talab etiladigan signal-shovqin nisbatini, ya'ni shovqindan himoyalanganlikni ta'minlash maqsadida raqamli TOA liniyalarida retranslyatorlar joylashtiriladi. Retranslyatorlar ikki turga bo'linadi:

1) *regeneratorlar*; 2) *optik kuchaytirgichlar*.

Dispersiya ta'siri uncha katta bo'lmagan, «0» ni «1» dan farqlasa bo'ladigan holatlardagina optik kuchaytirgichlaridan foydalaniladi. Kuchaytirgichlar signal shaklini tiklamaydi, faqat so'ngan signallarni kuchaytiradi va qabul qilingan signalga qo'shimcha shovqinlar beradi. Shuning uchun ularning soni berilgan shovqindan himoyalanganlik (xatolik koeffitsiyenti) va dispersiyaning ruxsat etilgan qiymatlarini hisobga olgan holda chegaralanadi.

Raqamli regeneratlorda signallar nafaqat kuchaytiriladi, balki to'g'rilanadi ham. Signallarni kuchaytirish, boshlang'ich shaklini tiklash, to'g'rilash, shovqinlarni bartaraf etish *regeneratsiyalash* deyiladi. Regeneratsiyalash regeneratl qurilmalarida amalga oshiriladi. Regeneratorni uzatuvchi va qabul qiluvchi optik modullar va regeneratsiyalash bloki yig'indisi sifatida ko'rish mumkin.

Ko'p kanalli optik tizimlarni tuzish, shuningdek, regeneratl orasidagi masofani uzaytirishga urinish, optik kuchaytirgichlarning rivojlanishiga sabab bo'ldi. Optik kuchaytirgichlar nolga teng bo'lmagan siljigan dispersiyali bir modali NZDSF optik tolalarining afzalliklari tufayli, qimmat regeneratsiyalash tizimlarini qo'llamaslik imkonini yaratadi va optik tola bo'ylab uzatiladigan axborot hajmini keskin oshiradi.

To'lqin uzunligi bo'yicha zichlashtirish usulida optik kuchaytirgichlarning vazifasi keskin ortadi. Chunki optik kuchaytirgichlar turli optik eltuvchili bir necha optik signallarni bir vaqtda kuchaytiradi. Hattoki bu hollarda ham, dispersiya tufayli signallarning buzilishi va shovqinlarga qo'yiladigan talablar bajarilmaydigan oraliq stansiyalar va oxirgi stansiyalarda regeneratlarni o'rnatish shart.

11.1-jadvalda regeneratl va optik kuchaytirgichlarning qiyosiy taqqoslash xarakteristikallari berilgan.

**Regenerator va optik kuchaytirgichlarning qiyosiy
xarakteristikalar**

Xarakteristikasi	Regenerator	Optik kuchaytirgich
Tuzilishi	Murakkab	Oddiy
Narxi	Arzon	Qimmat, biroq arzonlashmoqda
Puxtaligi	Yuqori	Juda yuqori
Signalni regeneratsiyalash	Bajariladi	Bajarilmaydi
Uzatish tezligiga bog'liqligi	Bog'liq	Bog'liq emas
Bir vaqtda bir necha signallarni uzatish imkoniyati	Mavjud emas	Mavjud
Signal/ shovqin nisbati	Yuqori	Past
Qo'llanish sohasi	Lokal, mintaqaviy va mintaqalararo tarmoqlar	Mintaqaviy va mintaqalararo tarmoqlar

Optik kuchaytirgichlar kam elementlardan tarkib topganligi uchun ularning tuzilishi oddiy. Lekin narxi ancha qimmat. Ehtiyojning oshishi bilan narxi arzonlashishi mumkin. Optik kuchaytirgichlarning ishonchliligi regeneratorlarga qaraganda yuqori. Bu uning eng muhim afzalligi bo'lib, optik kabellar suv ostiga yotqizilganda, retranslyatorlarni tashkil etishda e'tiborga olinadi. Optik kuchaytirgichlarning ishi signallarning uzatish tezligiga bog'liq emas, regeneratorlarda esa aksincha. Regeneratorlar bitta signal bilan ishlaydi. Optik kuchaytirgichlar esa kuchaytirish sohasining berilgan oraliq chegarasida turli to'liqin uzunlikli (WDM signal) bir necha optik signallarni bir vaqtda kuchaytiradi.

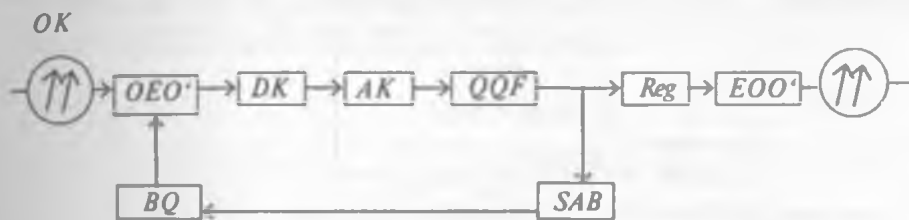
Optik kuchaytirgichlar regeneratorlardan farqli ravishda optik signallarni elektrik signallarga aylantirmay kuchaytiradi. Kuchaytirgichlar optik signallarning shaklini tiklamaydi, faqatgina kuchaytiradi, buning ustiga signal tarkibiga qo'shimcha shovqinlar qo'shadi. Ko'p kanalli optik tizimlarda har bir punktda har bir optik kanal uchun alohida regenerator talab qilinsa, bir necha optik kanallar

uchun bitta optik kuchaytirgich kerak bo'ladi. Oddiyligi va ishonchliligining yuqoriligi optik kuchaytirgichlarning afzalligidir. Shuningdek, optik kuchaytirgichlarning ishi uzatish tezligiga bog'liq emas, regeneratorlarda esa aksincha.

Optik regeneratorning tuzilishi, ish prinsipi va optik signallarni regeneratsiyalash jarayonini batafsil ko'rib chiqamiz.

11.2. Optik signallarni regeneratsiyalash. Regeneratorning tuzilishi va ish prinsipi

11.1-rasmda Retranslyator-regeneratorning umumiy tuzilish prinsipi keltirilgan [5].



11.1-rasm. Raqamli retranslyator-regeneratorning umumlashgan tuzilish sxemasi

Sxemada:

OK – optik kabel (stansiya yoki liniya kabeli);

OEO' – optoelektron o'zgartirgich. Optik signalni elektr signaliga o'zgartiradi. OEO' sifatida *p-i-n* fotodiodi yoki ko'chkili fotodiod ishlatiladi;

DK – dastlabki kuchaytirgich;

AK – amplituda korrektori, optik kabelda birinchi navbatda dispersiya tufayli hosil bo'ladigan buzilishlarni qisman bartaraf etadi; QQF – qabul qiluvchi filtr, foydali chastota oralig'idan tashqaridagi shovqin va buzilishlarni bartaraf etish maqsadida signal spektriga bog'liq ravishda chastota oralig'ini chegaralaydi;

SAB – sathni avtomatik boshqaruvchi qurilma, elementlarning eskirishi, harorat ta'siri natijasida kabel va OEO' xususiyatlarining o'zgarishidan regenerator kirishidagi signallar o'zgariganida bu signallar sathining doimiyligini ta'minlaydi;

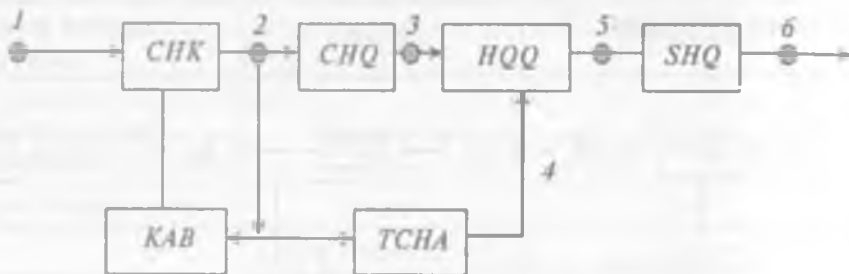
BQ – boshqaruvchi qurilma, SAB qurilmasidan berilayotgan signallar ta'sirida OEO' uzatish parametrlari o'zgarishini ta'minlaydi;

Reg – regenerator, elektr impulslari shaklini tiklaydi;

EOO' – elektron optik o'zgartirgich, elektr impulslari ketma-ketligini optik impulslar ketma-ketligiga o'zgartiradi. EOO' sifatida yorug'lik yoki lazer diodlari qo'llaniladi.

11.1-rasmdagi raqamli retranslyatorning asosiy elementi regenerator hisoblanadi.

11.2-rasmda regeneratorning tuzilish sxemasi keltirilgan [5].



11.2-rasm. Regeneratorning tuzilish sxemasi

Sxemada:

CHK – chegaralovchi kuchaytirgich;

KAB – kuchayishni avtomatik boshqaruvchi qurilma;

CHQ – chegaralovchi qurilma;

HQQ – hal qiluvchi qurilma;

TCHA – taktli chastota ajratkich;

SHQ – shakllantiruvchi qurilma.

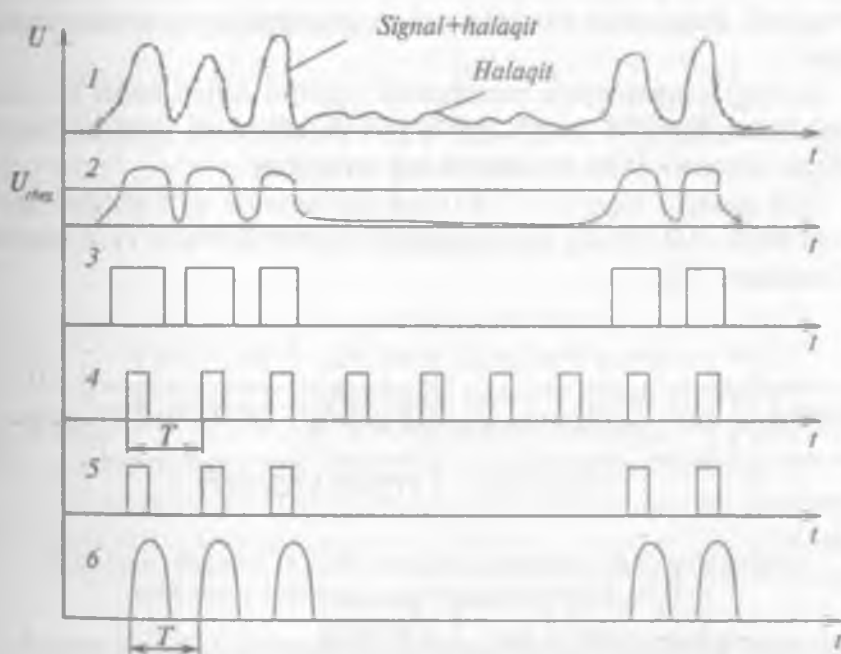
Bu elementlarning vazifalarini regenerator ishining vaqt diagrammasidan ko'rish mumkin (11.3-rasm) [5]. Bu rasmdagi 1 – 6-signal 11.2-rasmda tasvirlangan regeneratorning 1 – 6-nuqtalaridagi signal ko'rinishlaridir.

Regenerator ishini ko'rib chiqamiz.

QQF chiqishidan (11.1-rasm) signallar chegaralovchi kuchaytirgichga (1) tushadi. CHK KAB sxemasidan ham boshqariladi. KAB HQQ yordamida «1» va «0» impulslarni to'g'ri hal qilish uchun signal sathining doimiyligini qo'shimcha ravishda saqlab turadi. CHKda signallar kuchaytiriladi va buzilishlarni ma'lum bir

qismini bartaraf etish maqsadida signallarning amplitudalari chegaralanadi (2). CHK chiqishidan signal CHQ va TCHA kirishiga tushadi. Signal sathi U_{cheg} dan oshsagina CHQ chiqishida signal hosil bo'ladi (3). TCHA chiqishidan HQQ kirishiga (4) $f_T = 1/T$ taktli chastota impulslarining davriy ketma-ketligi uzatiladi, bunda T -impulslar ketma-ketligining davri.

Agar HQQning birinchi kirishiga CHQ chiqishidan axborot signallari ketma-ketligi (3), ikkinchi kirishiga taktli impulslar ketma-ketligi (4) berilsa va ular bir-biri bilan mos tushsa, HQQ chiqishida ma'lum amplituda va davriylikka ega impulslar hosil bo'ladi (5). Bu impulslar SHQga uzatiladi. SHQda impulslar shakli to'liq regeneratsiyalanib, boshlang'ich signallarga mos keluvchi impulslar shakllanadi. So'ng bu impulslar EOO' da (11.1-rasm) optik nurlanish impulslari ketma-ketligiga o'zgartiriladi.



11.3-rasm. Regenerator ishining vaqt diagrammasi

Shuni ta'kidlab o'tish kerakki, TCHA ishining xatoliklari tufayli hosil bo'ladigan fazalar titrashini kamaytirish maqsadida TCHA

chiqishidagi impulsning davriy ketma-ketligi (4) CHQ chiqishidagi to'g'rilangan impuls fazasi bilan albatta tenglashtiriladi.

Chegaralovchi qurilma va chegaralovchi kuchaytirgich regeneratoring asosiy elementlari hisoblanib, uning shovqindan himoyalanganligini ta'minlaydi, chegaraviy kuchlanish muayyan qiymatda kuchaytirishning aniq o'rnatilishini talab etadi.

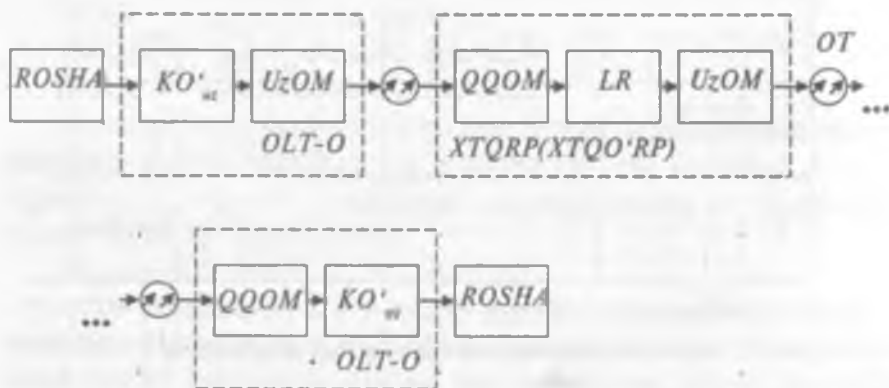
Chegaraviy kuchlanishning o'zgarishi regeneratoring shovqinbardoshlilikini kamaytiradi, bu chegaralovchi kuchaytirgich (CHK) chiqishidagi to'g'rilangan impulsning maksimal qiymati va chegaralovchi qurilmaning chegaraviy kuchlanishi orasidagi optimal nisbatning buzilishiga olib keladi.

Bunday optimal nisbatni doimiy ushlab turish uchun regeneratlarda KAB qurilmasi qo'llaniladi.

Regeneratlarning yuqorida aytib o'tilgan imkoniyatlari tufayli signallar to'liq qayta tiklanadi, shovqinlarning ta'sir qilishi yo'qoladi, aloqa sifati yaxshilanadi va shovqindan himoyalanganlik ortadi.

Hozirgi vaqtda optik nurlanishni raqamli signal bilan bevosita modulyatsiyalash va to'g'ridan-to'g'ri detektorlash amalga oshiriladigan raqamli TOA tizimlari keng tarqalgan.

11.4-rasmda raqamli TOATning regeneratori qo'llanilgan optik liniya trakti (OLT)ning umumlashgan tuzilish sxemasi 11.4-rasmda ko'rsatilgan [5].



11.4-rasm. Raqamli TOATda regeneratori qo'llanilgan optik liniya traktining tuzilish sxemasi

Rasmda ROSHA — berilgan uzatish tezlikdagi raqamli oqimlarni shakllantirish apparaturasi (raqamli uzatish tizimlarining apparaturasi);

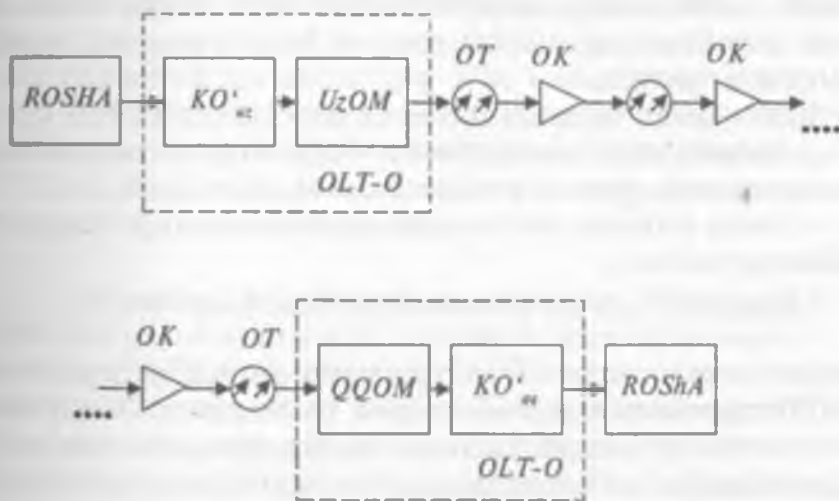
Ko'_{uz} va Ko'_{qq} — mos ravishda uzatishga qabul qilishdagi kod o'zgartirgichlar, Ko'_{uz} ning vazifasi raqamli TOATning shovqinbardoshli liniya signalini shakllantirish;

UzOM va QQOM — mos ravishda uzatuvchi va qabul qiluvchi optik modullar, elektrik signallarni optik signallarga aylantirish vazifasini bajaradi va aksincha;

XTQRP va XTQyRP — mos ravishda xizmat talab qiladigan va xizmat talab qilmaydigan regeneratsiyalash punktlari;

OLT-O — oxirgi punktning optik liniya trakti.

Raqamli TOA tizimida optik kuchaytirgich (OK) qo'llanilgan optik liniya trakti (OLT)ning umumlashgan tuzilish sxemasi esa quyidagi ko'rinishda bo'ladi (11.5-rasm).



11.5-rasm. Raqamli TOATda optik kuchaytirgich (OK) qo'llanilgan, optik liniya traktining umumlashgan tuzilish sxemasi

Raqamli TOAT liniya traktining oraliq qurilmasining keltirilgan tasnifi to'liq emas va optik nurlanishning to'liq uzunligi bo'yicha retranslyator turlari, qo'llaniladigan nurlanish manbalari va qabul qilgich turlari, raqamli TOATning o'tkazish qobiliyati va vazifasi bo'yicha to'ldirilishi mumkin.

11.3. Raqamli tolali optik aloqa tizimlarining liniya kodlari

11.3.1. Liniya kodlariga qo'yiladigan talablar

Raqamli uzatish tizimlarining analog-raqamli qurilmasining kodlash qonuniga muvofiq, raqamli oqimlarni shakllantirish apparaturasi (11.4 va 11.5-rasmlarga qarang) chiqishidagi signal bir qutbli impulslar ketma-ketligidan iborat bo'ladi. So'ng bu signal Ko'_{uz} ga tushadi, bunda u elektrik impulsleri faqat musbat bir («1») yoki nol («0») bo'lishi mumkin bo'lgan, liniya kodiga o'zgartiriladi. Bu kodning parametrlari optik tolaning uzatish parametrlari bilan maksimal muvofiqlashgan bo'lishi kerak. Bu signal UzOMda optik nurlanishning intensivligi yoki quvvatini modulyatsiyalab (optik tashuvchi bilan modulyatsiyalanib), raqamli optik signalning liniya kodini shakllantiradi. Optik liniya kodi faqat bir qutbli bo'ladi, ya'ni impulsleri faqat musbat yoki nol bo'lishi mumkin (manfiy fotonlar bo'lmaydi).

Liniya kodini tanlashga ikki sinf omillari ta'sir etadi:

- kodning yuqori shovqin bardoshlilik, berilgan uzatish sifatida liniyadagi optik signalning minimal quvvatini aniqlaydi;
- liniya kodining shakllantirish qurilmasini texnik realizatsiya qilishning soddaligi.

Liniya kodini tanlashdagi asosiy mezonlar quyidagilar:

1. Signalning energetik spektri $G(f)$ yetarlicha tor bo'lishi kerak, bundan maqsad raqamli TOATning qabul qiluvchi qurilmalarining va OTning polosa kengligini toraytirish, shuningdek, OTning dispersion buzilishlari ta'sirini, liniya va stansiya regeneratrlarining hal qiluvchi qurilmalari kirishidagi issiqlik va drob shovqinlari ta'sirlarini kamaytirish.

2. Liniya kodining energetik spektri tarkibida doimiy tashkil topuvchilarning bo'lmasligi va quyi chastotalarda kichik qiymatga ega bo'lishi kerak. Birinchi talab, TOAT liniya traktining aktiv elementlarining kuchlanish ta'minotining yuqori aniqlikda o'rnatishni ta'minlash kerakligi bilan tushuntiriladi. Ikkinchi talab, uzatish traktining chastota polosasini pastdan chegaralanishidan yuzaga keladigan, simvollararo halaqitlarni kamaytirish bilan bog'liq.

3. Energetik spektri yuqoridan chegaralangan bo'lishi zarur, bu uzatish traktining chastota polosasini yuqoridan chegaralanishidan yuzaga keladigan, simvollararo halaqitlarni kamaytirish imkonini beradi.

4. Raqamli TOATning liniya kodlarining tuzilishi regeneratrlarning taktli sinxronizatsiya impulslerini shakllantirish uchun raqamli signal tarkibidan taktli chastotani osongina ajratib olishni ta'minlashi kerak.

5. Liniya kodining tuzilishi quyidagilarni ta'minlashi kerak: yuqori shovqin bardoshlilikni, bu regeneratsiyalash uchastkasi uzunligini oshirish va bu bilan raqamli TOATning texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlarini oshirish imkonini yaratadi; uzatish sifati va aloqani uzmasdan liniya trakti qurilmalari sozligini nazorat qilishni; kodlash va dekodlash qurilmalarini ishlab chiqarish va ekspluatatsiyasi soddaligini ta'minlashi kerak. Va nihoyat, liniya kodi impulslerinin ko'rinishi elektro-optik va opto-elektron o'zgartirgichlar, shuningdek, OTning optik uzatish xarakteristikalariga mos bo'lishi kerak. Yuqorida keltirilgan talablarning to'liq hajmdagi yig'indisiga hech qaysi kod to'laqonli javob bermaydi. Shuning uchun, TOATning element bazasi, optik to'lqin uzunligi diapazonning xususiyatlarini e'tiborga olgan holda, optimal xarakteristikalariga erishish mumkin bo'lgan liniya kodi turi tanlanadi.

11.3.2. Liniya kodlarining turlari va ularning shakllanishi

Raqamli TOA tizimlarining yaratilishida, bir qancha kodlar nazariy va amaliy tadqiq etilgan. 11.6-rasmda ulardan TOATda keng qo'llanish topgan ba'zi turlari keltirilgan [5].

Kodlarni aniqlash, ularning shakllanishi va bu kodlarning 90 foiz energiyasini uzatish uchun chastota polosasi kengligi 11.2-jadvalda, ularning energetik spektrlari esa 11.7-rasmda berilgan [5]. TOAT apparaturalarida qo'llaniladigan boshlang'ich kod NRZ (non return to zero — nolga qaytmaslik) kodi hisoblanadi.

11.7-rasm tahlilidan shuni aytish kerakki, bu kodlar energetik spektrda doimiy tashkil topuvchilarning mavjud bo'lmashligi va quyi chastotali tarkib topuvchilarining kichikligi kabi talablarga javob bermaydi, RZ kodi NRZ kodiga nisbatan spektr kengligining

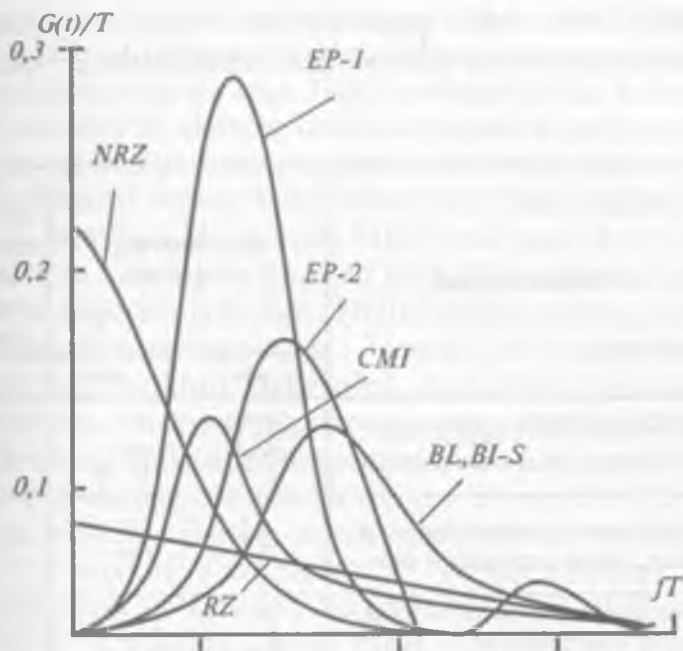
Boshlang'ich kodli ketma-ketlik	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1
Nolga qaytmasslik kodi (NRZ)										
Nolga qaytish kodi (RZ)										
Absolut biimpuls kodi (BI-L)										
Nisbiy biimpuls kodi (BI-S)										
«Murojati» kod (CMI)										
EP-1 turdagi elektron-foton kodi										
EP-2 turdagi elektron-foton kodi										

11.6-rasm. Raqamli TOAT liniya kodlarining asosiy turlari

kattaligi bilan xarakterlanadi, lekin afzalligi shuki, bu holatda LD va YD vaqtidan kam ishlaydi va ularni parametrlarining degradatsiya darajasi kamayadi, bu nurlanish manbalarining ayniqsa LDning xizmat muddatini oshiradi. Shuni belgilab o'tish joizki, NRZ kodining spektrida taktli chastotaning diskret tashkil etuvchilarining mavjud emasligi taktli chastota ajratkich qurilmasining ishlab chiqarishini murakkablashadi va regeneratorning qabul qilish qurilmalarining sinxronizatsiyasi qiyinlashadi.

Barcha optik kodlar blok ko'rinishida bo'lib, ularda boshlang'ich NRZ kodining har bir « m » impulsidan liniya optik kodining « n » impulsi shakllanadi. Bunda har doim $n > m$ bo'lib, ortiqcha impulslar liniyaga uzatiladi. Bu liniya *kodiga ortiqlik* deyiladi. Bunday kod $mBnB$ deb belgilanadi, bunda «B» (Binary – ikkilik) boshlang'ich va liniyaga uzatiladigan kodlarning ikkilik kodi ekanligini bildiradi. Liniya kodi boshlang'ich kodni uzatishga ketadigan vaqtda uzatilishi kerak. Turli optik kodlarni ko'rib chiqamiz.

1B2B sinfidagi kodlar. Bu sinfdagi kodlar sodda bo'lib, boshlang'ich kodlarga nisbatan liniyaga uzatiladigan impulslar soni 2 marta ortiq, shuning uchun ham samarador va keng qo'llanish topgan. RZ kodi 1B2B sinfiga kiradi. RZ kodida boshlang'ich NRZ



11.7-rasm. Raqamli TOAT energetik spektrining uzluksiz qismi

kodining «1» simboliga T taktli intervalning birinchi yarmida mos ravishda 1 va ikkinchi yarmida 0 qo'yiladi, ya'ni $1 \geq 10$ o'zgartirish amalga oshiriladi. Boshlang'ich NRZ kodining «0» simboli $0 \geq 00$ ga o'zgaradi, ya'ni T taktli intervalning birinchi hamda ikkinchi yarmida liniya kodining nollari hosil bo'ladi.

1B2B sinfdagi kodlar ichida biimpuls kodlar katta qiziqish namoyon etadi. Ular juda yuqori himoyalanganlikka va regeneratlarda taktli chastotani ajralish imkoniyatiga ega.

11.6-rasmida BI-L turdagi absolut biimpuls kod ko'rsatilgan, 11.2-jadvalda (uchinchi qator) esa uning shakllanishi berilgan: boshlang'ich «1» ikkilik ketma-ketligiga T taktli intervalning birinchi yarmida mos ravishda 1 va ikkinchi yarmida 0 qo'yiladi, ya'ni $1 \geq 10$ o'zgartirish bajariladi, «0» ikkilik ketma-ketligi uchun $0 \leq 01$ turdagi o'zgartirish bajariladi.

1B2B biimpuls kodlarining boshqa turi nisbiy biimpuls BI-S (11.6-rasmga qarang) kodi hisoblanadi, uning shakllanish qoidasi quyidagicha: boshlang'ich «1» ikkilik ketma-ketligiga navbatma-

navbat $1 \leq 11$, $1 \leq 00$ turdagi o'zgarishlar mos keladi; «0» ikkilik ketma-ketligi uchun $0 \leq 10$ yoki $0 \leq 01$ turdagi kombinatsiyalar mos keladi.

11.2-jadval

Kod turi	Kodlash qoidasi	Impulslarning o'zgarishi		90% energiyani uzatishdagi chastota polosasi kengligi
		«1»	«0»	
NRZ	«1» – butun intervalda 1 sath, «0» – butun intervalda 0 sath			$0,86/T$
RZ	T intervalning birinchi yarmida 1 sath, butun intervalda 0 sath			$1,72/T$
BI-L	T intervalning birinchi yarmida 1 sath, T intervalning ikkinchi yarmida 0 sath			$2,96/T$
BI-S	«1» – T intervalning boshida o'tish, «0» – T intervalning boshida va o'rtasida o'tish			$2,96/T$
CMI	«1» – butun T intervalda 1 va 0 sathlar almashinib, «0» – intervalning birinchi yarmida			$1,7/T$
EP-1	«1» – butun T intervalda 1 va 0 sathlar almashinib, «0» – intervalning o'rtasida o'tish			$1,52/T$
EP-2	«1» – butun T intervalda 1 va 0 sathlar almashinib, «0» – T intervalning birinchi va ikkinchi yarmida 1 va 0 sathlar mos ravishda almashinib			$1,7/T$

1B2B sinfdagi biimpuls kodlarning energetik spektri 11.7-rasmda tasvirlangan, rasmdan shuni aytish mumkinki, ular liniya kodlarining spektral xarakteristikalariga qo'yiladigan talablarga to'liq

javob beradi. Ilmiy-texnik adabiyotlarda BI-L, BI-S kodlari va ularning ba'zi modifikatsiyalari *Manchester kodlari* deb ataladi.

Aniq tuzilishga ega bo'lgan 1B2B sinfidagi kodlar kodlashdagi ortiqlilik, simvollar va ularning bloklari o'rtasida korrelatsion bog'liqliklarning mavjudligi tufayli elementlar bo'yicha qabul qilishda nafaqat xatoliklarni topish, balki ulrani to'g'rilash imkonini ham yaratadi. Bu borada CMI (Coded Mark Inversion) (11.6-rasmga va 11.2-jadvalga qarang) turdagi kod juda katta e'tiborga loyiq.

CMI kodi yuqorida keltirilgan 1B2B sinfidagi kodlarga nisbatan yaxshiroq energetik spektrga ega (11.7-rasm), ya'ni energetik spektri boshlang'ich raqamli signalning yarimtaktli chastotasida maksimumga ega, bu regeneratorlarning qabul qilish qurilmalarida taktli chastotaning shakllanishini osonlashtiradi. CMI kodida nisbatan oson, ortiqlilikning ma'lum bir qismi evaziga xizmat aloqasini tashkil etishi mumkin. Buning uchun odatiy rejimda «taqiqlangan» 01 (yoki 10) bloklari, shuningdek, 11 va 00 bloklarni ketma-ketligining buzilishi qo'llaniladi. Bu imkoniyatlarni 1B2B sinfidagi boshqa kodlar ham taqdim etadi, biroq CMI kodida bu masala juda oson yechimini topadi. Liniya kodlari shakllanishining turli algoritmlari bir xil sifat ko'rsatkichlariga olib kelishi mumkin. Bu borada 1B2B sinfiga mansub EP-1 va EP-2 elektron-foton kodlari qiziqishlarni namoyon etadi (11.6-rasmga qarang).

EP-1 kodi quyidagi tarzda hosil qilinadi: boshlang'ich ketma-ketlikning «1» simvoli navbatma-navbat 11 va 00, «0» simvoli esa 10 yoki 01 bloklari bilan kodlanadi. Boshlang'ich «0» simvoli kodlangan blokning birinchi simvoli undan oldingi blok simvolidan farq qilmaydi (11.2-jadvalga qarang).

EP-2 kodining shakllanishida «1» boshlang'ich ketma-ketligining o'zgarishi EP-1 kodidagidek, «0» simvoli esa 10 va 01 bloklari bilan almashinib kodlanadi (11.2-jadvalga qarang).

11.7-rasmda EP-1 va EP-2 elektron-foton liniya kodlarining energetik spektrlari keltirilgan.

TOATda EP-1 kodiga teskari bo'lgan Miller kodi keng qo'llanish topgan. Miller kodida boshlang'ich «0» simvoliga mos ravishda 11 va 00 bloklari, «1» simvoliga esa 01 va 10 bloklari qo'yiladi. Bu kodda blokning birinchi elementi oldingi blokning oxirgi elementi singari bo'lishi kerak, boshlang'ich signalning nollar ketma-ketligi

11 va 00 bloklarining navbatma-navbat almashinuvi bilan uzatiladi. Miller kodining energetik spektri EP-1 kodining energetik spektri bilan bir xil [5]. 2B4B sinfidagi kodlar. Bu sinfdagi kodga PIM pozitsion – impuls modulyatsiyali kod kiradi. Bunda boshlang'ich 00, 01, 10, 11 kodlardan mos ravishda 1000, 0100, 0010, 0001 liniya kodlari shakllanadi (11.3-jadval).

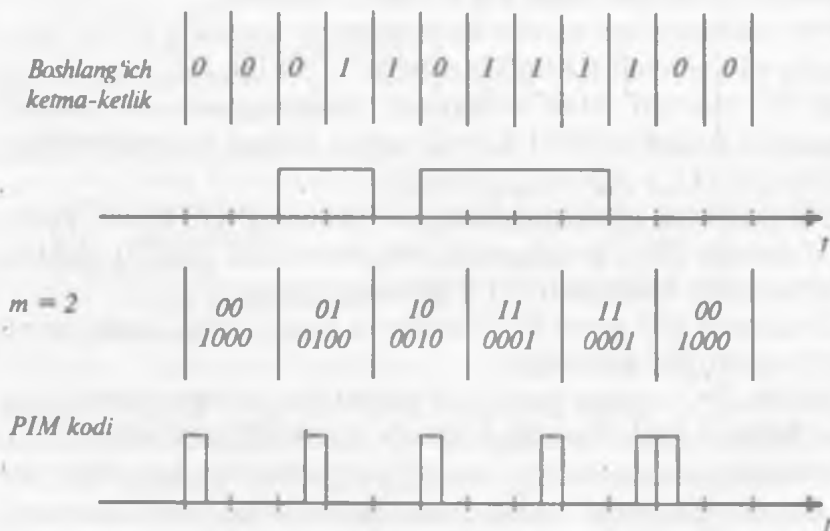
11.3-jadval

2B4B kodining shakllanishi

Boshlang'ich kod	Liniya kodi
00	1000
01	0100
10	0010
11	0001

11.8-rasmda PIM kodining shakllanishi berilgan

1B2B sinfidagi kodlardan PIM kodining afzalligi shundaki, unda «1» simvollarining soni 2 marta kam va mos ravishda liniyaga uzatishning o'rtacha quvvati kamayadi. Bundan birinchi navbatda nurlanish manbalarining ishonchliligi ortadi va quvvat kam sarf etiladi.



11.8-rasm. PIM kodining shakllanishi

To'rtta uzatilayotgan simvollardan faqat bittasi «1» simvoli bo'lganligi sababli sinxronizatsiya mukammallashadi. 1B2B, 2B4B sinfdagi kodlarda m impulsiga qaraganda n impulslari 2 marta ko'pligi sababli bunday kodlar tezligi 100 Mbit/s dan oshmaydigan tizimlarda qo'llaniladi.

$mBnB$ kodidagi ortiqlik

$$\rho = (n/m - 1) \quad (11.1)$$

liniya signalining taktli chastotasining ortishiga olib keladi:

$$f_l = \frac{n}{m} \cdot f_m, \quad (11.2)$$

bunda f_m — boshlang'ich raqamli impulslar ketma-ketligining taktli chastotasi.

1B2B kodi uchun $m = 1$, $n = 2$ da $\rho = 2$ va $f_l = 2f_m$ ga. Shu tarzda 1B2B kodlari ikki kamchilikka ega: ko'p ortiqlikka va taktli chastotaning ikkilanishiga, bu TOAT liniya traktining chastota pole-sasini kengaytirish zaruriyati va uning elementlari tezkorligining oshishiga olib keladi. Shuning uchun yuqori tezlikli uzatish tizim-larida ortiqligi kam va taktli chastota qiymati kichik liniya kodlaridan foydalanish maqsadga muvofiq. Chunki uzatish tezligi o'rtishi bilan apparaturalar murakkablashadi va liniyada dispersiya oshadi.

Xalqaro elektr aloqa ittifoqi raqamli TOATda 2B3B, 3B4B, 5B6B va 3B3B turdagi kodlarni qo'llashni taklif etadi.

Raqamli TOATda binar blok kodlari keng tarqalgan, ular uchun $m \geq 2$ va $n > m$. m bitli boshlang'ich raqamli ketma-ketlikning har bir bloki n bitli blokka o'zgaradi [5]. 11.4-jadvalda 2B3B turdagi liniya signalining shakllanishi ko'rsatilgan.

11.4-jadval

2B3B kodining shakllanishi

Boshlang'ich kod	Liniya kodi
00	001
01	010
10	100
11	011

3B4B, 5B6B kodlari. Bu kodlarda bitta ortiqcha razryadning kiritilishi, kam razryadlar sonidan iborat boshlang'ich kombinatsiyalarni ko'p razryadlar sonidan iborat sinxronizatsiya uchun qulay nol va birlarning birikmasi ko'rinishidagi kombinatsiyalar bilan almashtirish imkonini yaratadi. Buni 5B6B kodi misolida ko'rib chiqamiz. Boshlang'ich bloki 5 razryaddan tashkil topgan. Bitta razryaddan mumkin bo'lgan kombinatsiyalar soni $2^5=32$ ga teng. Bu kombinatsiyalar ichida sinxronizatsiya uchun unchalik samarali bo'lmagan nol yoki birlar seriyasi ketma-ket keluvchi (masalan, 00000, 00001, 11111 va boshqa) kombinatsiyalar ham mavjud. Agar ularni 6 razryadli blokka almashtirsak, mumkin bo'lgan kombinatsiyalar $2^6=64$ ta bo'ladi va ulardan sinxronizatsiyani ta'minlash nuqtayi nazaridan bir va nollar soni qulay bo'lgan 32 ta kombinatsiyani ajratib olish mumkin.

11.5-jadvaldan ko'rinib turibdiki, bir va nollar soni teng bo'lgan, 6 razryadli 20 ta kombinatsiya mavjud, qolgan 12 kombinatsiya ikkita bir va to'rtta noldan yoki to'rtta bir va ikkita noldan iborat kombinatsiyalar navbatma-navbat uzatiladi. Bu bilan birlar zichligining doimiyliigi ta'minlanadi. Bu kodlarda xatoliklarni topish, 5B6B kodiga taalluqli bo'lmagan 6 razryadli kombinatsiyalarni aniqlash bilan bog'liq [18]. 1B2B, 2B4B kodlariga nisbatan 5B6B kodining energetik spektri tor, bu uning eng muhim afzalligi hisoblanadi. Oddiy juftlikka (toqlikka) tekshirish usuli yordamida xatoliklarni nazorat qilish ehtimolligi mBnB sinfdagi kodlarning afzalligi hisoblanadi. Buning uchun m simvollarga bitta ortiqcha impuls kiritiladi ($n = m+1$). Bunday kodlash ko'pincha mBIP deb belgilanadi. Xatoliklarni nazorat qilish raqamli liniya signalidagi «0» va «1» dan iborat ketma-ketliklarning maksimal uzunligi bo'yicha ham aniqlanishi mumkin.

Ba'zan qo'shimcha impuls blokli sinxronizatsiya signallarini shakllantirish uchun liniya kodiga kiritiladi va bunday kodlar mBIC deb ataladi. Agar qo'shimcha impulslar ham juftlikka (toqlikka) tekshirish hamda blokli sinxronizatsiyani ta'minlash uchun kiritilsa, u holda mBIPIC turdagi aralash kod hosil bo'ladi. Bundan tashqari, bir qator mBnB kodlari energetik spektrning quyi chastotali sohasida telenazorat, telemexanika va xizmat aloqasi signallarini samarali uzatishni tashkil etish imkonini beradi.

5B6B sinfini kodli kombinatsiyalari

Chiqish bloki	5B6B kodi	Chiqish bloki	5B6B kodi
00000		10000	100011
00001	101011 100010	10001	110101
00010	101010	10010	000101
00011	101001	10011	111001
	111000(+) 101000	10100	001001
00100		10101	001101
00101	110010	10110	110011
00111	111010 001010	10111	010001
01000	001011	11000	010101
01001	011010	11001	110001
01010	100110	11010	011101
01011	101110 100100	11011	011000
01100	101100	111000	100111
	110100	11101	100001 100101
01101	110110 000110		011001
01110			101101
01111	001110		001100
	010110	11110	010111
	011110 010100	11111	010111
			010111(-)
			011011
			010010
			011100

Yuqori tezlikli raqamli TOATda mBIC kodining bir turi hisoblangan, 10B1R1P turdagi liniya kodi keng qo'llanish topgan. Boshlang'ich o'n simvolli NRZ kodiga qo'shimcha P va P impulslarni kiritish orqali 12 simvolli 10B1R1P liniya kodi shakllanadi (11.9-rasm).



11.9-rasm. 10B1R1P turdagi liniya kodini shakllanish sxemasi:

a — boshlang'ich NRZ kodi; b — 10B1R1P liniya kodi

Xatoliklar mavjudligi P razryadi yordamida tekshiriladi. Bu nazorat simvoli boshlang'ich blokni justlikka tekshirish uchun xizmat qiladi. Agar NRZ kodi boshlang'ich blokining yig'indisi juft sonni bersa, P razryadiga «0» simvoli, aksincha bo'lsa, «1» simvoli beriladi. Shu tarzda uzatishda birlamchi xatolikni aniqlash imkoniyati yuzaga keladi. Qo'shimcha P simvoli servis xizmat signallarini, ya'ni xizmat aloqa, telemexanika va telenazorat, sinxronizatsiya uchun kiritiladi. 10B12B kodi ba'zan 10B1R1P deb belgilanadi. Impulslar ketma-ketligining energetik spektri ikki qismdan iborat: diskret $G_d(f)$ va $G_u(f)$ uzluksiz. Taktli chastota ko'rinishdagi diskret tashkil etuvchi va uning garmonikalarining mavjudligi sababli taktli chastotani filtrlar yordamida ajratish mumkin. To'g'ri burchakli impulslar ketma-ketligining me'yorlashtirilgan energetik spektrlarining uzluksiz tashkil etuvchilari quyidagi munosabatlardan aniqlanishi mumkin:

NRZ kodi uchun

$$G_u(f) = \frac{T \sin^2(\pi fT)}{2(\pi fT)^2}, \quad (11.3)$$

RZ (1B2B) kod uchun

$$G_u(f) = \frac{T \sin^2(\pi fT/2)}{8(\pi fT/2)^2},$$

BI-L va BI-S turdagi biimpuls kodlar uchun

$$G_u(f) = \frac{T \sin^4(\pi fT/2)}{2(\pi fT/2)^2}, \quad (11.5)$$

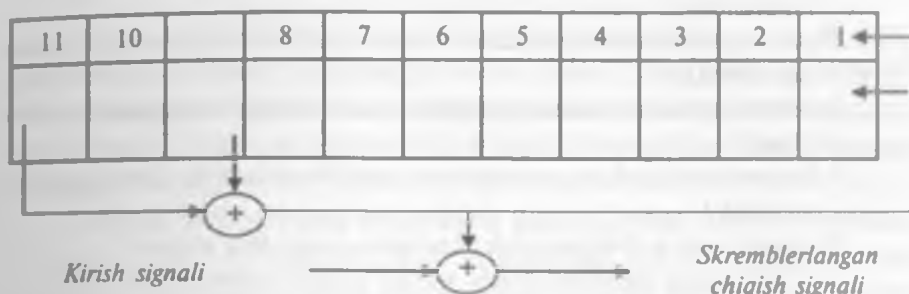
$mB1C$ turdagi liniya kodi uchun energetik spektrning uzluksiz tashkil etuvchisi quyidagi munosabatdan aniqlanishi mumkin:

$$G_u(f) = 1 - \left\{ \frac{2 \cos(2\pi fT_L) - [\cos(m2\pi fT_L) + \cos(m+2)2\pi fT_L]}{m[1 - \cos(m+1)2\pi fT_L]} \right\}. \quad (11.6)$$

bunda $T_L = mT/(m+1)$ – liniya signalining taktli intervali; T – boshlang'ich impulslar ketma-ketligining (NRZ kodining) taktli intervali. Barcha liniya kodlari optik nurlanishning doim faqat

musbat va nolinni chastotada spektrning diskret tashkil etuvchisiga ega bo'lgan impulslaridan tuzilgan [5].

Skremblerlash — bu yangi kodni yaratishni yana bir imkoniyatidir. Bunda liniya kodi simvollarining boshlang'ich kod simvollariga nisbatan ortiq bo'lishiga zaruriyat mavjud emas. Albatta, bunday kodlash o'zining tejamkorligi tufayli yuqori tezlikli tizimlarda, asosan, STM-N tizimlarida qo'llaniladi (11.10-rasm).



11.10-rasm. Skremblerlash qurilmasining ishi

Skremblerlashda boshlang'ich kod, bir va nollarning uzatish zichligi taxminan teng bo'lgan kodlarga almashtiriladi, bu qabul qilishda sinxronizatsiya muvozanatini ta'minlaydi. Uzatishda xatoliklarni aniqlashga kelsak, bunday maqsadlar uchun sikl sarlavhasi (freym) qo'llaniladi. Bunda sikldagi barcha axborot skremblerlanadi. Skremblerlash qurilmasining ishi asosida bir va nollar kvazitasodifiy ketma-ketligining generatori singari suruvchi registrni qo'llash yotadi. Kvazitasodifiy ketma-ketliklarni olish uchun suruvchi registrda ikki moduli bo'yicha alohida yacheykalarni qo'shish qo'llaniladi. Birinchidan, bunda har bir siklda suruvchi registrga kiritilgan har qanday ketma-ketlikdan («0» dan tashqari) taktdan taktda o'zgaruvchi nol va birlar ketma-ketligi shakllanadi. Bu signallar boshlang'ich signal bilan qo'shilganda, liniyaga skremblerlangan signalning berish va xuddi shunday skremblerlash qurilmasida, xuddi shunday suruvchi registrda bir xil lahzada ko'chirilgan boshlang'ich ketma-ketliklardan (liniya trakti bo'ylab uzatiladigan signalni vaqt bo'yicha kechikishini nazarda tutgan holda) qabul qiluvchi qismda boshlang'ich signalni qayta tiklash imkonini beradi.

Skremblerlashning yana qo'shimcha afzalligi shundaki, uzatiladigan axborotlarning maxfiyligi saqlanadi [19].

Nazorat savollari

1. Raqamli tolali optik aloqa tizimlarining liniya traktiga ta'rif bering.
2. Optik aloqa liniya traktida regenerator va kuchaytirgichlarni qo'llashda qanday farq bor?
3. Optik liniya traktida regeneratorlardan qanday maqsadda foydalaniladi?
4. Optik regeneratorlar qanday alohida xususiyatlarga ega?
5. Optik signallarni regeneratsiyalash jarayonini tushuntiring.
6. Raqamli optik regeneratorlarning umumlashgan tuzilish sxemasini tushuntiring.
7. Optik regeneratorlarning tuzilishi va ish prinsipini vaqt diagrammalari asosida tushuntiring.
8. Tolali optik liniya traktida signallarni uzatish sifatiga qanday omillar ta'sir qiladi?
9. Raqamli tolali optik aloqa tizimlarining optik liniya kodlariga qanday talablar qo'yiladi?
10. Optik liniya kodlarining elektr kodlardan asosiy farqi nimada?
11. 1B2B sinfiga qaysi kod turlari mansub va ular qanday shakllanadi?
12. 2B4B sinfidagi kodlar qanday shakllanadi va bu kodlar qanday afzalliklarga ega?
13. mBnB kodidagi ortiqlik va liniya signalining taktli chastotasi qaysi miqdoriy munosabat bilan aniqlanadi?
14. 2B3B, 3B4B, 5B6B sinfidagi kodlar qanday shakllanadi va ular qanday afzalliklarga ega?
15. Yuqori tezlikli TOATda qaysi liniya kodlaridan foydalaniladi?

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Б.В. Скворцов, И.И. Иванов, В.В. Крухалев и др. Оптические системы передачи: Учебник для вузов. Под ред. В.И. Иванова. — М.: Радио и связь, 1994.
2. М.М. Бутусов, С.М. Верник, С.Л. Галкин, В.Н. Гомзин, Б.М. Машковцев, К.Н. Шелкунов. Волоконно-оптические системы передачи: учебник для высших учебных заведений. Под ред. В.Н. Гомзина. — М.: Радио и связь, 1992.
3. Вышневецкий А.Г. Телекоммуникационные системы передачи (часть вторая); конспект лекций, ТУИТ, Ташкент, 2004.
4. Фокин В.Г. Оптические системы передачи и транспортные сети: — М.: Экотрендз, 2008. -284 с.
5. Isayev R.I., Atamatov R.K., Radjapova R.N. Telekommunikatsiya uzatish tizimlari. Toshkent, «Fan va texnologiya», 2011. — 520 b.

5-bo'lim

TOLALI OPTIK ALOQA TARMOQLARI

12-bob. TOLALI OPTIK ALOQA TARMOQLARI

12.1. Infokommunikatsion xizmatlar

Jahon sivilizatsiyasi rivojining hozirgi bosqichi industrial jamiyatdan axborot jamiyatiga o'tish bilan tavsiflanib, u axborot va telekommunikatsion texnologiyalarni ommaviy foydalanishga asoslangan ijtimoiy va iqtisodiy faoliyatning yangi shakllarini nazarda tutadi.

Axborot jamiyatining texnologik asosi Global Axborot Infratuzilmasi (GAI) hisoblanib, sayyoramizning har bir kishisi uchun axborot resurslariga erkin kirish imkoniyatini ta'minlashi kerak. Axborot infratuzilmasining ma'lumotlar bazasi, axborotga ishlov berish vositalari yig'indisi, telekommunikatsiya tarmoqlari va xizmatlardan foydalanuvchilarning terminallari tashkil etadi.

GAI da axborot resurslariga kirish Axborot jamiyatining xizmatlari yoki infokommunikatsion xizmatlar nomini olgan yangi turdagi telekommunikatsiyalar xizmatlari vositasida amalga oshiriladi.

Infokommunikatsion xizmatlarni ko'rsatish hajmlarining yuqori sur'atlarda o'sishi ularning yaqin kelajakda telekommunikatsiyalar tarmoqlarida ustunlik qilishini oldindan bashorat qilishga imkon beradi.

Bugungi kunga kelib infokommunikatsion xizmatlarning rivojlanishi, asosan, Internet kompyuter tarmog'i doirasida amalga oshiriladi, ularning xizmatlariga kirish imkoni an'anaviy telekommunikatsiya tarmog'i orqali yuz beradi.

Shu munosabat bilan infokommunikatsion xizmatlarning rivojlanishi telekommunikatsiya tarmoqlarining vazifalarini bir vaqtda kengaytirish bilan infokommunikatsion resurslarning samarali boshqarish masalasini hal etishni talab etadi.

Infokommunikatsion xizmatlarga quyidagi talablar qo'yiladi:

— xizmatlarning mobilligi (harakatchanligi);

- yangi xizmatlarni maqbul holda va tez yaratish imkoniyati;
- kafolatlangan xizmatlar sifati.

Infokommunikatsion xizmatlarga talablarga konvergensiya jarayoni katta ta'sir ko'rsatadi, u infokommunikatsion xizmatlarning foydalanuvchilarga unga kirish usuliga bog'liq bo'lmagan holda kirish mumkinligiga olib keladi.

12.2. Optik aloqa tarmoqlariga qo'yiladigan talablar

Infokommunikatsion xizmatlarning qarab chiqilgan xususiyatlari istiqbolli – optik aloqa tarmog'iga quyidagi talablarni belgilaydi:

- multiservislik, bu xizmatlarni ko'rsatish texnologiyalarining transport texnologiyalaridan bog'liq emasligi (mustaqilligi) tushuniladi;

- keng polosalilik, bunda xizmatlardan foydalanuvchining joriy ehtiyojlaridan bog'liq holda keng diapozonda axborotni uzatish tezligining qulay va dinamik o'zgartirish imkoniyati tushuniladi;

- multimediallik, bunda telekommunikatsiya tarmog'ining ko'p komponentli axborotlarni (nutq, ma'lumotlar, video, audio) real vaqtda bu komponentlarni zarur sinxronlashtirish bilan va birikmalarning turli xil konfiguratsiyalardan foydalanib uzatish qobiliyati tushuniladi;

- intellektuallik, bunda xizmatlarni taqdim etish jarayonida bir nechta operatorning ishtirok etishi va ular masuliyatlarining faoliyat sohasiga muvofiq bo'linishi tushuniladi.

An'anaviy telekommunikatsiya tarmoqlari xalqaro, shaharlararo, hududiy, mahalliy (shahar va qishloq) hamda abonentlik kirishi tarmoqlariga bo'linadi.

Mavjud kanallari kommutatsiyalangan umumiy foydalanishdagi telekommunikatsiya tarmoqlari hozirgi vaqtda yuqorida sanab o'tilgan talablarga javob bermaydi. An'anaviy tarmoqlarning cheklangan imkoniyatlari yangi infokommunikatsion xizmatlarni joriy etish yo'lida tutib turuvchi omil hisoblanadi.

Shu munosabat bilan an'anaviy telekommunikatsiya tarmoqlarining optik telekommunikatsiyalar tarmoqlarini yaratish yo'nalishida infokommunikatsion xizmatlarni joriy etishni va bundan keyin rivojlantirishni hisobga olish zarur. Shuning uchun paketli

kommutatsiya negizida tolali-optik telekommunikatsiya tarmog'ini yasash konsepsiyasi asosida universal telekommunikatsiya tarmog'ini yaratish to'g'risidagi g'oya yotadi, u axborotning har qanday turlarini — nutq, video, audio, grafika va h.k.larni o'tkazishga imkon beradi, shuningdek, cheksiz doirada infokommunikatsion xizmatlar taqdim etish imkonini ta'minlaydi.

12.3. Optik aloqa tarmoqlarining turlari

To'lqin uzunligi bo'yicha zichlashtirish bilan (WDM) texnologiyasining paydo bo'lishi keng polosali tolali — optik uzatish tizimlarining vujudga kelishi va tezkor rivojlanishini nishonladi, u esa bitta tola bo'yicha 10 Gbit/s tartibdagi kattalikkacha uzatish uchun tashkil etilgan aloqa kanali sig'imini keskin oshirishga imkon berdi.

To'lqinli multipleksorlash uslubining mohiyati bir qancha optik eltuvchilar λ_i (uzatuvchi tomonida) ni birlashtirishdan va olingan $\Sigma \lambda_i$ signalni bitta optik kanal bo'yicha uzatib, keyin ayrim eltuvchilarni, keyinchalik ajratish (demultipleksorlash) bilan, masalan, ularni qabul qiluvchi tomonidan filtrlash yo'li bilan ajratishdan iborat.

Tolali-optik aloqaning bundan keyingi rivojlanishi to'la optik fotonli telekommunikatsiya tarmoqlarini yaratishga yo'naltirilgan. Mazkur tizimlarda signallarni uzatish, qabul qilish, ishlov berish va kommutatsiyalash sof foton darajasida, elektron jarayonlar va elektr qurilmalarning ishtirokisiz yuz beradi.

Yangi tarmoq asoslari shunday bo'lishi kerakki, bunda xizmatlarni yetkazib berish bo'yicha mijozlar talablarining tez o'zgarishi va o'sishiga oson moslanadigan bo'lishi kerak. Talab qilinadigan narsalarning hammasi bu servis darajasini qo'llab-quvvatlash uchun yoyilgan intellektual dinamik fotonli transport darajasidir.

Foton tarmog'i modeli ikki darajadan iborat: servis darajasi va fotonli transport darajasi. Yangi arxitektura fotonli kommutatsiya va DWDM texnologiyalari yangiliklarining afzalliklari kombinatsiyasi sifatida qarab chiqiladi.

U multigigabitli oqimli tizimni yetkazib beradi va servis platformalari uchun to'lqin uzunliklari darajasida texnik boshqariluvchi

tarmoq interfeyslarini ta'minlaydi. Servis platformalariga marshrutizatorlar, ATM-kommutatorlar va kirish chiqish SONET/SDH multipleksorlari kiradi, ular transport darajasidan servis darajasiga qayta taqsimlangan. Servis darajasi zarur transport hajmi (sig'imi)ni tarmoq elementlariga talab qilingan joyga qachon u talab qilinganda yetkazib berish uchun fotonli transport darajasiga to'la tayangandek tasavvur qilinadi. Mijozlarning o'sib borayotgan talablarini qoniqtirish uchun tarmoq resurslari bilan tez ta'minlashni amalga oshirish kerak bo'lib, ular yangi arxitekturaning ajralmas qismi sifatida qarab chiqiladi.

Bugungi kunda tarmoqlarning to'rtta turi mavjud bo'lib, ular bir xil optik tarmoqlar deb ataladi. Quyida tarmoqlarning shu turlari sanab o'tilgan va ularning qisqa tavsifi berilgan [1]:

1) SDH/SONET negizidagi tarmoqlar, ularda faqat «nuqta-nuqta» bir to'liqinli uzatish optik uzatish hisoblanadi. Asli bu optoelektron tarmoqlardir;

2) to'liqin uzunligi bo'yicha ajratilgan multipleksorlash texnologiyasi foydalaniladigan tarmoqlar, ko'p to'liqinli optik uzatishni ta'minlab, bu vaqtda kommutatsiya va boshqarish to'liq ravishda elektr sohasida amalga oshiriladi. Bular hali ham optoelektron tarmoqlardir, biroq ular optik uzatishning ancha ilgari surilgan (ilg'or) texnologiyasidan foydalanadi va ularda optik operatsiyalar birinchi turdagi tarmoqlarga qaraganda ancha ko'pdir;

3) to'liqin uzunligi bo'yicha zichlashtirish texnologiyasi foydalaniladigan tarmoqlar va optik kommutatsiya, kommutatsiyani va tarmoqni boshqarish elektrik tarzda amalga oshirilmoqda. Bu ittifoqlik darajasi turlicha bo'lgan optik tarmoqlardir. (Tarmoqning ittifoqligi deganda tarmoqning istalgan turdagi axborotni protokol va kodlash turiga, uzatish tezligiga, shuningdek, modulyatsiya texnikasiga bog'liq bo'lmagan holda uzatish imkoniyati tushuniladi.). Agar barcha bo'g'inlar optoelektron o'zgarishlar va signal-larni regeneratsiyalash uchun foydalansa va/yoki uni kommutatsiyalash va uzatish uchun qo'llansa, u holda tarmoq noshaffof bo'lib qoladi (OEO). Ikkinchi tomondan, agar optoelektron shakl almashtirish umuman foydalanilmasa, u holda tarmoq to'la shaffof bo'ladi. Bu ikki cheklanishlar orasida qisman shaffof bo'lgan tarmoqlar ham mavjud. Nazorat elektrik amalga oshirilsa ham,

ma'lumotlarni uzatish yo'lining boshidan oxirigacha to'la optik hisoblanadi. Qisman shaffoflik optoelektro-optik shakl almashinishlar bilan bog'liq shaffof tarmoqlarning orolchalar shaklida bo'lishi mumkin [2];

4) barcha operatsiyalar va funksiyalar, kommutatsiya va tarmoqni boshqarishni ham hisobga olganda optik amalga oshiriladi. Bu to'liq ravishda optik tarmoqlardir.

Yuqorida sanab o'tilganlardan shuni ta'kidlab o'tish lozimki, foton oxirgi ikkita tarmoq turlari haqiqatan ham optik kommutatsiya bilan bog'liqdir. Qisman yoki to'liq shaffof tarmoqlar to'liq uzunligi bo'yicha zichlashtirish texnologiyasini va bir tomondan optik kommutatsiyani, ikkinchi tomondan elektron nazorat bilan qo'shib olib boradilar. Optik kommutatorlarni va tarmoqlari juda bo'limganda texnikaning hozirgi rivojlanish darajasida yorug'lik vositasida nazorat qilib bo'lmaydi.

12.4. Optik aloqa tarmoqlari

To'liq optik tarmoqlar (bundan keyin inglizcha qisqartma AON/ All Optical Networks dan foydalaniladi), ularning faoliyat yuritishida kommutatsiyada, multipleksorlashda retranslyatsiyada bosh rolni elektron (optoelektron) texnologiyalar emas, balki sof optik texnologiyalar o'ynaydi [3].

To'liq optik tarmoqlar ham bugungi kundagi, ham ertangi tarmoq axborot ilovalari uchun ham ulkan o'tkazish polosasini ta'minlashga qodir. To'liq optik tarmoqlar (AON) uch asosiy toifaga bo'linadi [4,5]: ko'p to'liqli aloqa liniyalaridan foydalanuvchi tarmoqlar, kanallari kommutatsiyalanuvchi kanallar va paketlari kommutatsiyalanadigan tarmoqlar (12.1-jadval).

AON ning birinchi ikki toifasi bir muhim tavsifga ega — tarmoqning foydalanilayotgan ilovaga nisbatan shaffofligiga. Optik shaffoflikka WDM optik kanallarining istalgani bo'yicha manba — bo'g'indan belgilangan joydagi bo'g'ingacha signalni o'zgartiruvchi optoelektron qurilmalardan foydalanilmasdan erishiladi. Har bir WDM kanali chegarasida signal formati tejamkorlikni va ulkan imkoniyatlarni to'plagan holda virtual jihatdan ixtiyoriy bo'lishi mumkin.

Shaffof AON da optik terminal qurilmani eng umumiy holda qayta quriluvchi lazer uzatkichlar va/yoki qayta quriluvchi burish filtrlar ifodalaydi. Tarmoqning ikki chetki bo'g'ini bunday tarmoq orqali ma'lum ikki to'lqinga (qabul qilish va uzatish uchun) sozlash yo'li bilan aloqa kanalini o'rnatishlari mumkin bo'lib, bu to'lqinlarni ularga optik terminalning tarmoq kontrolleri tegishli dastlabki so'rovga ishlov berib, taqdim etadi. Ulanish o'rnatilgandan so'ng magistral kanal foydalanilayotgan ilovaga nisbatan shaffof bo'lib qoladi.

12.1-jadval

To'liq optik tarmoqlar tasnifi (AON)

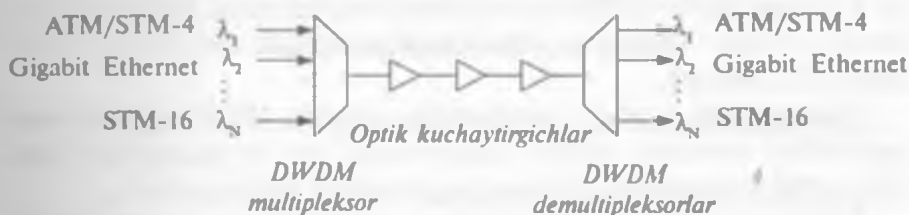
Tarmoq toifasi	Qism toifa	Tavsiflari
Ko'p to'lqinli multipleks aloqa liniyasi	—	Chetki bo'g'inlarga qaraganda to'liq shaffof
Kanallarni kommutatsiyalash bo'yicha to'liq optik	Keng eshittirishli tarmoq (passiv)	To'liq shaffof
	Passiv to'lqinli marshrutizatsiyali tarmoq	To'liq shaffof
	Faol to'lqin marshrutlashlashtirishli tarmoq	To'liq shaffof
Pakatlarni kommutatsiyalash bo'yicha to'liq optik	Ketma-ket bitli paketlar kommutatsiyali tarmoq	Belgilangan protokoldan foydalanilganda shaffof
	Parallel bitli paketlar kommutatsiyali tarmoq	Belgilangan protokoldan foydalanilganda shaffof

Istagan foydalanuvchilar guruhi shaffof AON dan tegishli to'lqin uzunliklar to'plamini olishi va o'zining xususiy virtual tarmog'ini tashkil etishi mumkin bo'lganda ancha qiziqarli imkoniyat vujudga kelishi mumkin.

Bu tarmoqda har bir foydalanuvchi bir vaqtda bir nechta to'lqin uzunligi — optik kanallarni ochishga qodir. Shunday qilib, shaffof AON mahalliy va ulkan masofalar miqyosida foydalanuvchilarni birlashtirishning juda boy imkoniyatlariga ega.

12.4.1. Oddiy ko'p to'liqli aloqa liniyasi

Tarmoqning bu turi AON arxitekturasini tashkil etishning eng oddiy usulini taqdim etadi (12.1-rasm). Bunday aloqa kanali bir xil turdagi bo'g'inlar orasida «nuqta-nuqta» birikmalari to'plamini tashkil etishga imkon beradi, ular ma'lum, aynan ular uchun mo'ljallangan to'liqli uzunliklarida aloqada bo'ladi. Mazkur tarmoqning afzalliklari: bir-biri bilan o'zaro aloqada bo'lgan har bir mufta ajratilgan katta o'tkazish polosasi; kafolatlangan o'tkazish polosasi oqibatida aloqaning yuqori darajada ishonchliligi (har bir kanalga alohida to'liqli uzunligiga ajratiladi); tarmoq har bir kanalining chetki bo'g'inlari orasidagi tarmoq ilovasini (ATM, Gigabit Ethernet, SDH/PDH va h.k.) tanlashga nisbatan shaffofligi. Kamchiligi kanallar bo'yicha qat'iy qayd etilgan birikmalarning mavjudligi hisoblanadi.



12.1-rasm. Oddiy ko'p to'liqli aloqa liniyasi

Hozirgi vaqtda kabel televideniyesi tarmoqlarida simpleksli ko'p to'liqli aloqa liniyalari keng tarqaldi, ularda uzatish faqat bitta yo'nalishda olib boriladi.

Ko'p to'liqli aloqa liniyasi to'la qimmatga ega tarmoq hisoblanadi, chunki u «har biri har biri bilan» qoidasi bo'yicha uzoqlashtirilgan bo'g'inlarni tutashtirishga imkon beradi.

U, asosan, yuqori sig'imga ega transport magistrali vazifasini bajaradi va SDH magistraliga o'xshab «nuqta-nuqta» statik tutashtirishlarni faqat chastotali multipleksorlash bilan ta'minlaydi. Ko'p to'liqli liniyalar ancha murakkab to'liqli optik tarmoqlar arxitekturalari tarkibida bo'lishi mumkin.

12.4.2. Optik tarmoqlar kanallar kommutatsiyasi bilan

Kanallar kommutatsiyasi bilan AON ning dastlabki ikkita kichik toifasi (keng eshittirishli tarmoqlar va to'liqin marshrutlashtirilishi passiv bo'lgan tarmoqlar) PON (Passive optical network) passiv tarmoqni ifodalaydi. PON — bu faqat passiv komponentlardan foydalanuvchi AON dir: tolalar, yo'naltirilgan tarmoqlagichlar, tarqatkichlar, to'liqin multipleksorlari va filtrlar.

12.4.2.1. Keng eshittirishli optik tarmoq

Keng eshittirishli har bir uzoqlashtirishgan AON ning bo'g'iniga, odatda, ma'lum to'liqin uzunligi yozib qo'yiladi, unda bo'g'in uzatishni amalga oshiradi. Barcha uzoqlashtirilgan bo'g'inlardan kelgan signallar optik yulduzsimon tarmoqlagichda to'planadi, bunda ular aralashtiriladi va chiqish qutblari bo'yicha uzoqlashtirilgan bo'g'inlarga qaytib ketayotgan tolalarga taqsimlanadi, har bir bo'g'in barcha to'liqin uzunliklari bilan taqdim etilgan multipleks signal oladi (12.2-rasm).

Tarmoqning markaziy elementlari sifatida WDM kabi to'liqin uzunliklari bo'yicha tanlash funksiyasiga ega bo'lmagan bir yoki bir nechta yulduzsimon tarmoqlagichlardan foydalaniladi.

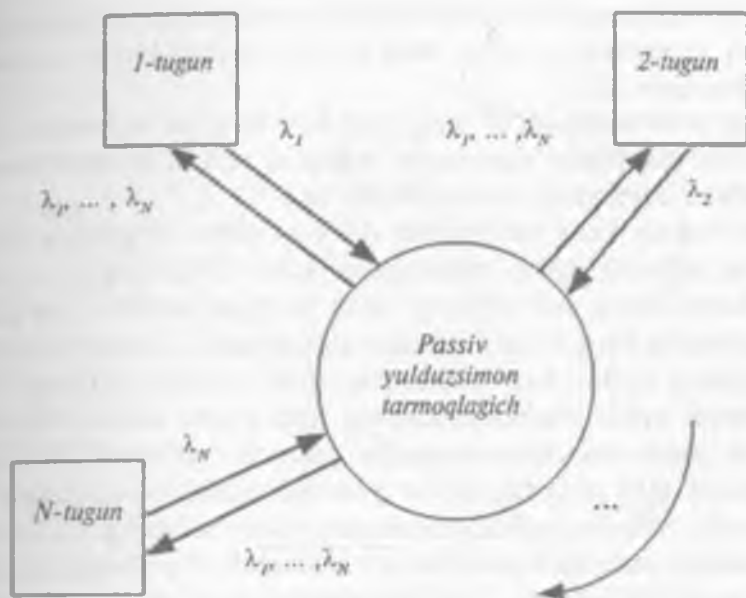
Uzoqlashtirilgan har bir bo'g'in qabul qilinayotgan multipleks oqimdan qanday to'liqin uzunligidagi kanalni tanlab olish kerakligini o'zi aniqlaydi.

Qabul qiluvchi element sifatida yo boshqarish protokoliga muvofiq qayta qurilayotgan bitta foto qabul qilgichi bo'lgan filtr yoki chiqish qutblariga ulangan fotoqabulqilgichlar to'plami bo'lgan demultipleksor WDM xizmat qilishi mumkin.

Agar A stansiya B stansiyaga axborot uzatmoqchi bo'lsa, u quyidagicha ish tutadi:

1. B stansiyaga uzatish uchun ruxsat berilishiga talabnoma jo'nata boshlaydi. Talabnoma — bu qisqa xabarlar va sinxronlashtirish signalining λ_s to'liqin uzunligidagi takrorlanuvchi ketma-ketligidir.

2. O'z qabul qilgichini B stansiya band (masalan, uchinchi stansiyadan ma'lumotlar qabul qilib olayotgan), u holda A stansiya



12.2-rasm. Keng eshittirishli optik tarmoq

B stansiya uchun uzatishga ruxsat berilishiga talabnomani jo'natishda davom etadi.

3. Agar *B* stansiya bo'sh bo'lsa, u sikl bo'yicha ketma-ket to'liqin uzunliklarining butun diapazonini skanerlab, uning uchun mo'ljallangan boshqa stansiyalarning talabnomalari mavjudligini tekshiradi.

4. *B* stansiya o'ziga yuborilgan talabnomani ko'rganda (mazkur holda *A* stansiyadan kelgan talabnomani), u o'zining o'zgaruvchan filtrlarini bu talabning λ_a to'liqin uzunligida qayd etadi va darhol *A* stansiyasiga tasdiqnomani jo'natadi. Bu juda tez ro'y beradi, chunki *B* stansiya doim qayd etilgan λ_a to'liqin uzunligida uzatadi, *A* stansiyaning qabul qilgichi shu to'liqin uzunligiga sozlangan bo'ladi.

5. Shundan keyin ikkala stansiya to'ular biriktirishni uzishga qaror qilmaguncha, bir-biri bilan ma'lumotlarni erkin almashinib turishlari mumkin.

Keng eshittirishli *AON* muqobil arxitekturasida ham bo'lishi mumkin, unda bo'g'inga signalni faqat bitta qayd etilgan, faqat shu

bo'g'in mo'ljallangan to'lqin uzunligida qabul qilishga, o'zgaruvchan lazerdan foydalangan holda turli to'lqin uzunliklarida uzatishga ruxsat berilgan [5].

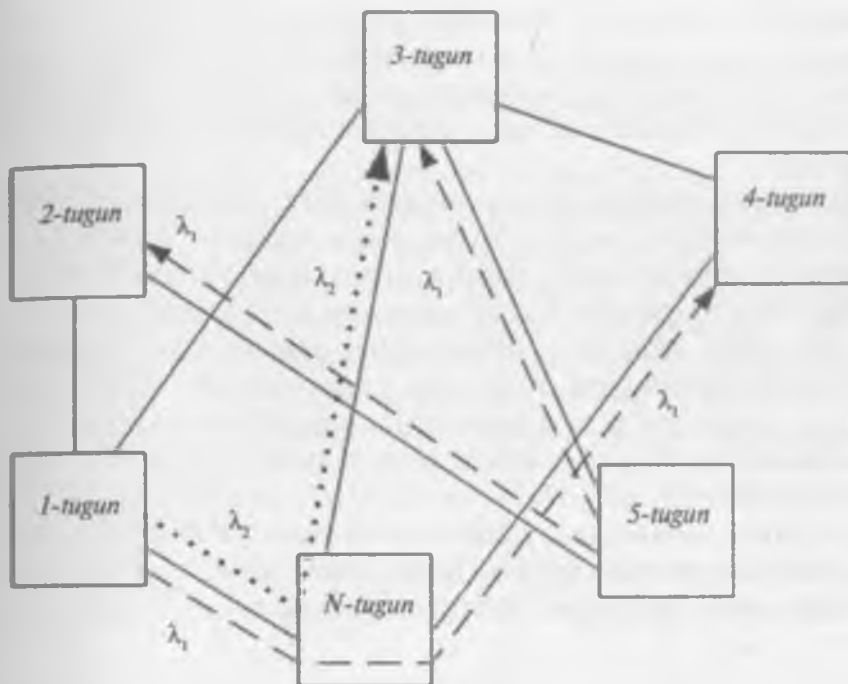
Keng eshittirishli *AON* ning markaziy bo'g'ini va barcha optik segmentlar sof passiv elementlar bo'lgani uchun bunday tarmoq juda yuqori darajadagi ishonchlilikka ega.

Shu vaqtda, keng eshittirishli *AON* ni global tarmoqlar uchun magistral sifatida ikkita muammoga ko'ra foydalanish mumkin emas. Birinchidan, har bir bo'g'indan chiqqan uzatkich energiyasi boshqa barcha bo'g'inlar o'rtasida taqsimlanadi, buning natijasida energiyaning katta qismi tarmoqlanishda bekorga sarflanadi. Bu muammoni optik kuchaytirgichlarni jalb qilgan holda hal qilish mumkin, lekin bunda ishonchlilik pasayadi. Ikkinchidan, keng eshittirishli *AON* ning har bir bo'g'ini individual to'lqin uzunligini talab etadi, shuning uchun tarmoqdagi bo'g'inlarning to'liq soni kanallarning maksimal soni bilan cheklanadi, bu kanallarni bitta tolaga multipleksirlaydi. DWDM zich to'lqinli multipleksorlash texnikasidan foydalangani holda alohida tolaga multipleksirlash mumkin bo'lgan turli to'lqin uzunliklari sonining nazariy chegarasi taxminan 200 ni tashkil etadi. Keyin, agar uzatish uchun 20 ta tola foydalanilyapti deb faraz qilinsa, u holda taxminan 4000 ta bo'g'inni birlashtirish mumkin bo'lib, bunda yagona axborot magistralini vujudga keltirish uchun nihoyatda kamdir. Keng eshittirishli masshtablanuvchi arxitekturalarni tuzishning prinsipial imkoniyati yo'qligi ularning qo'llanish tarmog'ini mahalliy masshtab bilan cheklaydi.

12.4.2.2. Passiv to'lqin marshrutlashtirishli optik tarmoq

Qisman ikkala muammo passiv to'lqin marshrutlashtirilishi bilan *AON* asosida hal etilishi mumkin (12.3-rasm).

Bunday tarmoqda ma'lum to'lqin uzunligidagi signal belgilangan joy bo'g'iniga tarmoqning barcha oxirgi bo'g'inlari orasida keng eshittirishli taqsimlanish o'rniga oraliq bo'g'inlari ketma-ketligi orqali qayta jo'natilishi (statik marshrutlanishi) mumkin. Bu tarmoqlagichlarning yo'qligi tufayli optik signalning energiyasini tejashga imkon beradi va tarmoqning turli yopilmaydigan qismlarida



12.3-rasm. Passiv to‘lqin marshrutlashtirishli optik tarmoq

aynan bir xil to‘lqin uzunlikda taqdim etilgan signallardan bir vaqtda foydalanishga yo‘l qo‘yadi.

Passiv to‘lqin marshrutlashtirishli tarmoqning oraliq bo‘g‘inlari bo‘lib, asosan, WDM multipleksorlar asosida bajarilgan statik marshrutizatorlar hisoblanadi.

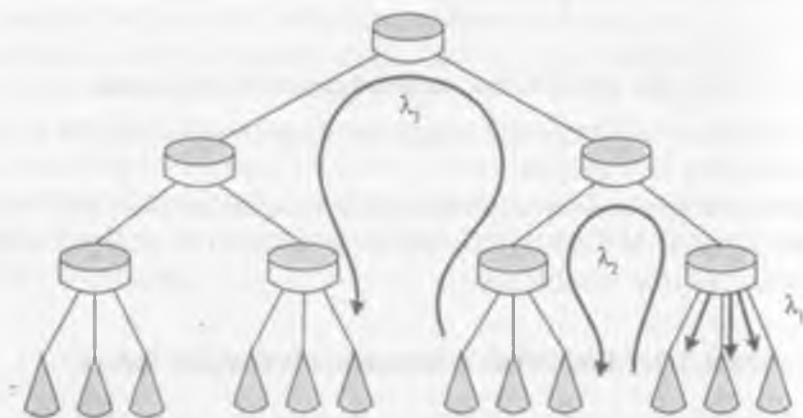
12.4.2.3. Aktiv to‘lqin marshrutizatsiyali optik tarmoq

Tarmoqning bundan keyingi qo‘shilishi statik marshrutlashtirishdan dinamik marshrutlashtirishga o‘tish bilan bog‘liq. Bo‘g‘inlardagi marshrutlashtirish aktiv bo‘la boshlaydi va masofali konfiguratsiyalashga ruxsat beradi. Dinamik marshrutlashtirish, dastavval, optik kommutatorlardan foydalanishni nazarda tutadi.

12.4-rasmda kanallar kommutatsiyali AON tarmog‘i ko‘p bosqichli tarmog‘i arxitekturasiga misol ko‘rsatilgan, unda guruhlar darajasida undan tashqariga chiqmaydigan keng eshittirishli AON

amalga oshirilgan (bu maqsadda ma'lum to'liqin uzunliklari ajratiladi, turli guruhlarda lokal ravishda to'liqin uzunliklarining aynan bitta to'plami foydalanish mumkin), yanada yuqori darajada (darajalarda) dinamik to'liqinli marshrutizatsiyali tarmoq amalga oshiriladi.

Shubhasiz, kanallar kommutatsiyasi bilan AON dagi dinamik marshrutlashtirish ko'p jihatdan o'zgaruvchan bo'ladi. Biroq maksimum masshtablikka erishish uchun aktiv to'liqin marshrutlanishi bilan bir qatorda to'liqinli konversiya amalga oshirilishi kerak, u turli to'liqin uzunliklari bilan taqdim etilgan to'liqin kanallari o'rtasidagi ulanishlarni aniqlashga imkon beradi. 12.5-rasmda barcha oxirgi bo'g'in (stansiya)lar signallarni ikki to'liqin uzunliklarining istalganiga uzatishlari yoki qabul qilishlari mumkin, marshrutizatorlar esa to'liqin uzunligini o'zgartirmasdan, talabga ko'ra kanalni har qanday mumkin bo'lgan yo'nalishga qayta yo'naltirishi mumkin bo'lib, faqat bunda chiqish segmentida to'siqlar paydo bo'lmasligi sharti bajarilishi kerak.



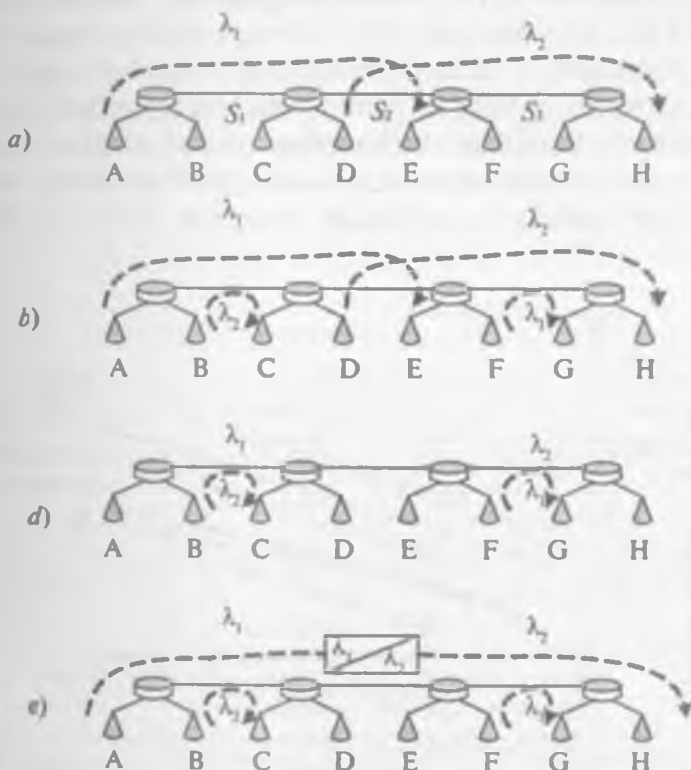
12.4-rasm. Kanallar kommutatsiyali optik tarmoq arxitekturasiga misol

Birinchi bosqich (12.5-a rasm). *A* stansiya *E* stansiya uchun λ_1 to'liqin uzunligida ma'lumotlarni uzata boshladi. Keyin *D* stansiya *H* stansiya uchun boshladi. Bu uzatishning to'liqin uzunligi faqat λ_2 bo'lishi mumkin, chunki S_2 segmentda λ_1 to'liqin

uzunlikdagi kanal taqdim etilgan.

Ikkinchi bosqich (12.5-b rasm). B dan C ga tomon, F dan G ga qarab uzatishlar start oldi. Bu uzatishlarning to'liq uzunliklari bir qiymatli aniqlanadi.

Uchinchi bosqich (12.5-d rasm). A dan E ga va D dan H ga uzatishlar to'xtatiladi, shundan so'ng A stansiya H stansiya uchun uzatishni xohlab qoldi. To'liqin marshrutlashtirishsiz, ya'ni faqat bitta to'liqin uzunligi (λ_1 yoki λ_2)dan foydalanib, buni amalga oshirib bo'lmaydi, boshqa uzatishlarni g'alayonlantirmasdan yoki S_2 uchastkada yoki S_1 uchastkada blokirovka (to'siq) yuzaga keladi. Agar umumiy konfiguratsiyalashga yo'l qo'yilsa, u holda F va G orasidagi uzatishning to'liqin uzunligini λ_1 dan λ_2 ga oldindan qayta



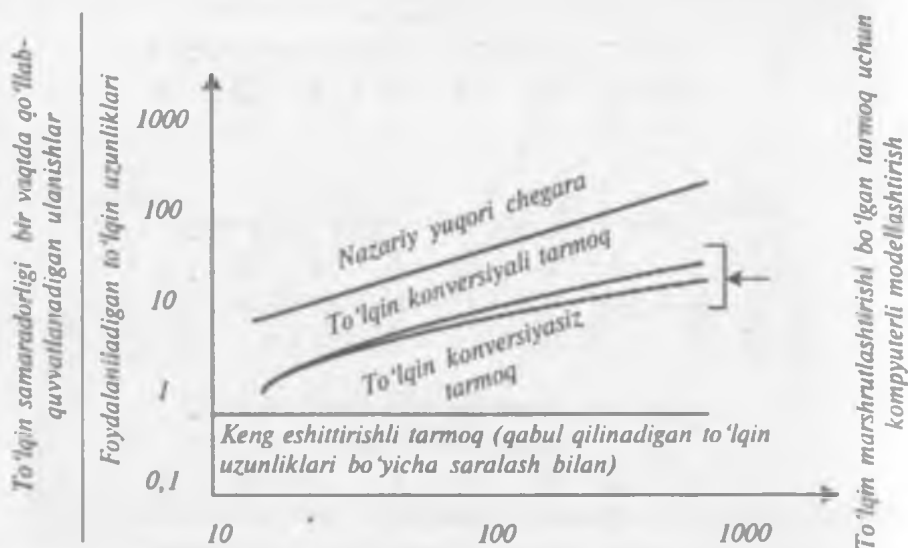
12.5-rasm. Dinamik to'liqin marshrutlashtirishli optik tarmoq:
a – tarmoqda to'liqin konversiyasiz vujudga keladigan cheklanishlar;
c – to'liqin konversiyasi tarmoqni yanada o'zgaruvchan qiladi

qurish mumkin, shundan so'ng I va H ga tomon λ_1 to'lqin uzunligida uzatishni boshlash mumkin. Lekin uzatish paytida bir to'lqin uzunlikdan boshqa to'lqin uzunligiga o'tish juda ham noqulay — ma'lumotlarning uzluksiz oqimida bu axborotning yo'qolishiga olib kelishi mumkin.

To'lqin konvertori ancha o'zgaruvchan yechimni taqdim etadi (12.5-e rasm).

To'lqin konversiyasining mavjudligi tarmoqning o'zgaruvchanligini oshirishdan tashqari bitta to'lqin uzunligiga o'rtacha turli xil juft birikma (ulanishlar)larning qanday maksimal soni to'g'ri kelishini ko'rsatuvchi to'lqin samaradorligining (12.6-rasm) o'sishiga olib keladi [3].

12.7-rasmda to'lqin konvertorlari asosidagi markaziy bo'g'inli tarmoqqa misol ko'rsatilgan. Har bir bo'g'in signalni qayd qilingan to'lqin uzunligida uzatadi, shuningdek, signalni qayd etilgan, individual (mazkur bo'g'in uchun belgilangan to'lqin uzunlikda qabul qiladi). Uzoqdagi stansiyaning uzatish to'lqin uzunligini tanlash muhim emas. Masalan, xususan, barcha stansiyalar aynan bitta to'lqin uzunligida uzatishlari mumkin. Markaziy kommu-



12.6-rasm. Optik tarmoq kanallar kommutatsiyasi bilan. Keng eshittirishli optik tarmoqlarni taqqoslash va to'lqin marshrutlashtirishi bo'lgan optik tarmoq

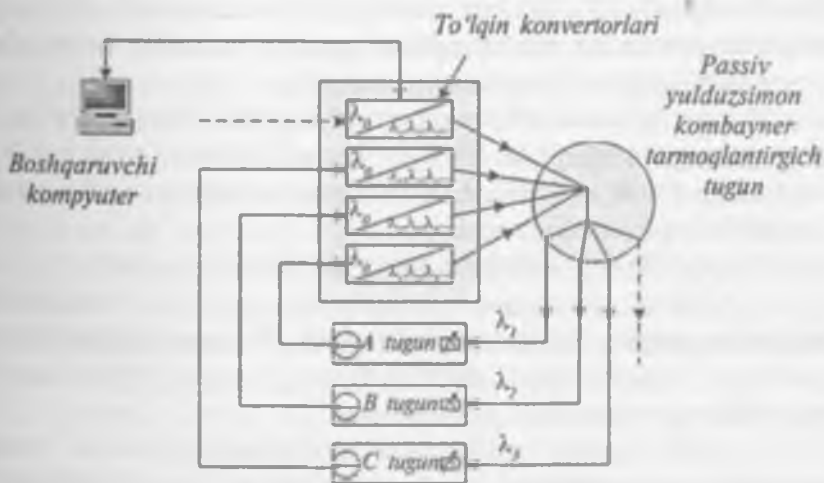
tatsiya bo'g'ini barcha uzoqlashtirilgan bo'g'inlardan optik signallarni qabul qiladi va ularni boshqaruvchi kompyuterdan kelgan yo'riqnomalarga muvofiq boshqa to'lqin uzunligidagi signallariga almashtiriladi. Yulduzsimon kombayner — tarmoqlantirgich turli xil uzunlikdagi signallarni aralashtiradi va barcha chiquvchi qutblar bo'yicha taqsimlaydi. Uzoqdagi ikki bo'g'in orasidagi mantiqiy ulanishidan oldin tegishli to'lqin konvertorlar sozlanadi. Agar C tugun A tugun uchun xabar uzatishni istasa, u holda quyidagi harakatlar ketma-ketligi bajariladi:

- C bo'g'in A bo'g'in uchun uzatishga ruxsat berish uchun maxsus so'rovni joylashtiradi, u boshqaruvchi kompyuter tomonidan ishlanadi;

- agar xabar beriladigan manzil bo'sh bo'lsa, A bo'g'in ulanishini o'rnatishiga tayyorligi to'g'risida tasdiqni olib boshqaruvchi kompyuter bu bo'g'in bilan xabarlari almashinadi;

- agar hammasi joyida bo'lsa, boshqaruvchi kompyuter C bo'g'inga A bo'g'in bilan ulanish o'rnatilishini xabar qiladi;

- boshqaruvchi kompyuter A va C bo'g'inlar o'rtasida ulanishni o'rnatadi.



12.7-rasm. Kanallar kommutatsiyasi bo'lgan optik tarmoq: tarmoqning markaziy bo'g'ini to'lqin konverterlari asosida bajarilgan

Bunday yondashishning asosiy kamchiligi — ulanish jarayonining nisbatan uzoqligi.

Shu bilan birga, markaziy elementli tarmoqning misoli bir qancha afzalliklarga ega:

- juda sodda markazlashgan nazorat. To'qnashuvlarni (qarama-qarshiliklarni) hal qilish bilan bog'liq muammolyar yo'q;

- aynan bitta chastotadan barcha uzatkichlar uchun foydalanish mumkin, bu to'lqin kanallarining yanada zichroq joylashgan yo'l qo'yilishini anglatadi, holbuki ayrim hollarda optik qabul qilgichlarga barqarorlashtirish kerak bo'lishi ham mumkin;

- qarab chiqilgan markazlashgan tarmoqning bosh afzalligi shundaki, u (uzatishning juda katta tezliklarida — 1 Gbit/s va undan ortiq) narxi bo'yicha markaziy bo'g'inda sof elektron kommutatorli tarmoqqa nisbatan ancha past bo'lishi kerak.

12.4.3. Optik tarmoq paketlar kommutatsiyasili tarmoq

Kanallari kommutatsiyali optik kanallar to'liq holda oxirgi tarmoq bo'g'inlari tomonidan istalgan ilovalardan foydalanish uchun shaffof bo'lgan optik magistrallarni qurishga imkon beradi. Ammo bu afzalligi bilan bir qatorda ularning bir kamchiligi kanallar kommutatsiyali tarmoqlar ma'lumotlarni uzatish mahalliy tarmoqlaridan «portlash grafigi» bilan ishlay olmaydi.

Shu munosabat bilan paketlar kommutatsiyali to'liq optik tarmoqlarni joriy qilish ideal bo'lar edi, chunki ular tolali-optik aloqa kanallarini o'tkazishning ajratilgan polosasidan ancha samarali foydalanishga imkon beradi.

Paketlar kommutatsiyali AON ning xususiyatlari:

- AON da paketlar kommutatsiyasi tarmoqlar rivojlanishning mutlaqo yangi yo'nalishni ifoda etadi. Bu marshrutlashtirishning mutlaqo yangi sxemalari, AON texnologiyasiga mo'ljallangan yangi arxitekturalar ishlab chiqilishi kerak;

- optik oqimlar marshrutlashtirilishining barcha sxemalari paketlar kommutatsiyali barcha AON uchun bir xil bo'lishi kerak. Kanallar kommutatsiyali tarmoqlar uchun bu talab ancha yumshoq bo'ldi va, asosan, yagona chastota rejasining mavjudligi bilan chegaralandi;

— to'liq optik tarmoqlar texnologiyalarida optik buferlarni yaratish murakkab masalalardan biridir. Shuning uchun buferlash-tirishsiz kommutatsiyalash texnologiyasidan foydalanuvchi optik paketli kommutatorlarga afzallik berishadi;

— yangi arxitekturalar har bir optik domenning o'ziga xos xususiyatlarini hisobga olishi kerak, bu ulardan konstruksiyani soddalashtirish uchun foydali bo'ladi.

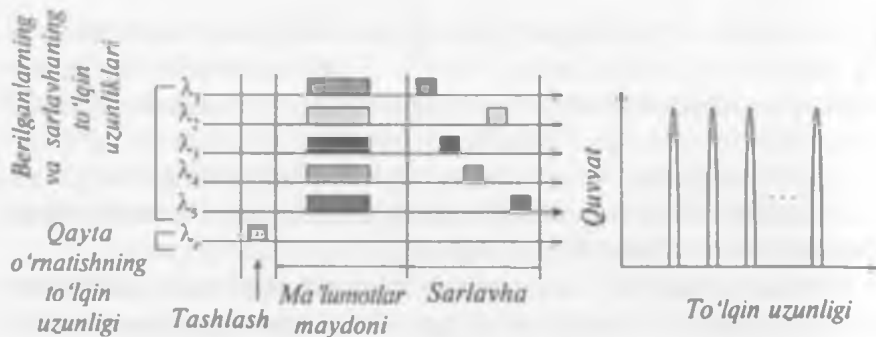
Bundan keyin AON da paketli kommutatsiyaning ikki uslubi: ketma-ket bitli va parallel bitli paketlar kommutatsiyasini ko'rib chiqamiz.

12.4.3.1. Ketma-ket bitli kommutatsiyali optik tarmoq

Optik ketma-ket bitli kommutatsiya BSPS (bit sequential packet switching) — bu kanallar kommutatsiyasi bo'lgan kanallarda foydalaniladigan uslublardan farq qiluvchi, kommutatsion elementlarning elektronikasini to'g'ridan-to'g'ri boshqarish uslubidir. BSPS dan foydalanishda olingan to'lqin uzunligidagi kanalda paketning sarlavhasi (boshi) P binar bitlar ketma-ketligi bilan kodlanadi (bitli 1 optik signalning mavjudligi bilan, bitli 0 esa uning mavjud emasligi bilan aniqlanadi). Bu bitlar kommutatorni tegishli holatga o'rnatib, paketning sarlavhadan keyingi jismiga kommutator orqali tegishli chiqish qutbiga erkin yurishiga imkon beradi. Paket ko'rinishida kommutator shaffof bo'lgani uchun bunday tarmoq optik tarmoq deb nomlanishini to'liq saqlab qoladi. P bitdan iborat sarlavha uchun tarmoq bo'g'inlarining 2^P ta turli adreslari mavjud. To'lqinli multipleksorlash uzatuvchi sig'imni ancha oshirishga imkon beradi, lekin qo'shimcha qiyinchiliklarga olib keladi. Kanallarning paketli kommutatsiyasini bajarishdan oldin dastlab murakkab signalni demultipleksiyalash kerak, kommutatorlarning chiqishida esa tegishli simpleks kanallarni takroran multipleksorlash zarur.

12.8-rasmda SWANET tarmog'idagi paketning tuzilishi keltirilgan.

SWANET (self-routed Wavelength Addressable NETwork) to'lqin adresli o'zi marshrutlovchi tarmoq binar BSPS arxitekturaning yaxshilangani hisoblanadi [6], SWANET, BSPS va WDM afzalliklaridan foydalanadi, buning natijasida paketlar sarlavhalari



12.8-rasm. SWANET tarmog'ida paketning tuzilmasi

bitlari o'rnatadigan turli adreslarning yo'l qo'yilgan soni ortadi (12.8-rasm). SWANET BSPS ga o'xshash paket tuzilmasiga ega. Orqasidan, ma'lumotlar maydoni keladigan sarlavha birdaniga bir necha to'liq kanallarini qamrab olib, P bitlardan iborat ketma-ketlik bilan kodlanadi. Sarlavha va ma'lumotlar maydoni aynan bitta to'liq uzunliklari to'plamidan foydalanadi. Agar to'liq uzunliklari soni k bo'lsa, u holda sarlavhaning har bir biti to'liq uzunliklarining birida bir bilan (signal bor) ifodalanadi, bu paytda qolgan $k-1$ kanallarda bu vaqt signal bo'lmaydi.

Shunday qilib, sarlavhaning turli konfiguratsiyalarining to'liq soni (tarmoq oxirgi bo'g'inlarining maksimal soni) k^P ni tashkil etadi. Butun multipleks kanalning talab etilgan kommutatsiyasi uchun kommutator sarlavha bitlarini tegishli holatda o'rnatadi. Paketli uzatishni tugatish bu maqsad uchun alohida ajratilgan maxsus to'liq uzunligida «tashlash» signalini uzatish vositasida yuz beradi.

Tarmoq ma'lumotlar maydoni formatiga nisbatan shaffof bo'lgani uchun bu maydon bitta integratsiyalangan (qo'shilgan) ko'p to'liqlikni uzatishni ham, individual kanallar bo'yicha bir-biri bilan bog'lanmagan uzatishlar to'plamini ham qamrab olishi mumkin.

Birinchi holda turli kanallar ma'lumotlari maydonlari orasida sinxronlashtirish zarur, ikkinchi holda — bunday sinxronlashtirish shart emas. SWANET ning cheklanishlari bo'lib, dispersiya va ko'ndalang halaqitlar hisoblanadi.

12.4.3.2. Parallel bitlar ketma-ketligidagi optik tarmoq

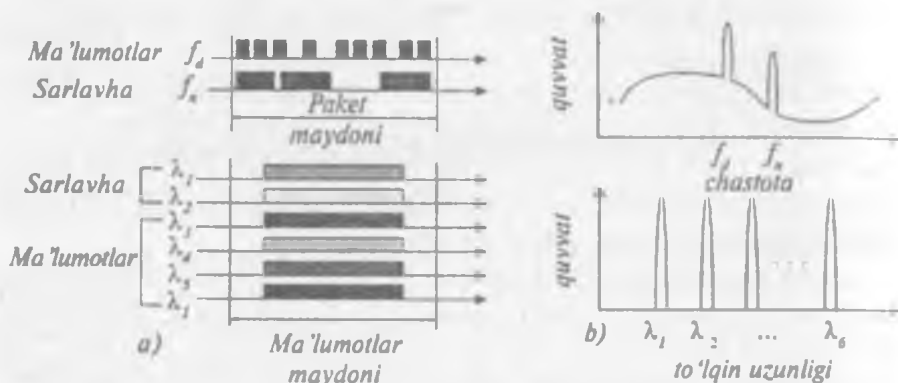
BPPS (bit — parallel packet switching) parallel bitli kommutatsiyasidagi tarmoqlarni amalga oshirish (ishlatish) uchun kodlashning ikkita turlicha texnikasi taklif etilgan: SCM (sub-carrier multiplexing) eltuvchilari ostini multipleksiyalash texnikasi va ko'p to'liqli BPPS texnikasi. Ikkala texnika ham ma'lumotlarni va, xususan, kommutatorlarni uzib-ulanish yuz beradigan sarlavhani uzatish uchun aynan bitta toladagi alohida kanallardan foydalanadi. Paket sarlavhasi endi paket ma'lumotlari maydonini uzatishdan oldin bo'ladigandek ma'lumotlar bilan ketma-ket emas, balki ma'lumotlar bilan parallel holda uzatiladi, bu o'tkazish qobiliyatini oshirishga imkon beradi.

SCM texnikasida ma'lumotlar va sarlavha optik eltuvchining ikkita turli eltuvchi omillari sifatida kodlanadi va keyin baravar uzatiladi (12.9-a rasm). SCM mavjud spektrdan eltuvchi osti chastotasidan kichik bo'lishi kerak bo'lgan bit tezligini cheklashlar hisobiga samarali foydalanishga imkon beradi. Shunday qilib, ma'lumotlar signalining butun spektri cheklangan bo'lganda, ya'ni ma'lumotlarning bit tezligi juda yuqori bo'lganda SCM texnikasi foydalidir.

To'liq optik tarmoqlarga qo'llanilganda SCM bir qator cheklashlarga ega bo'ladi. Ularning asosiysi kommutatorda sarlavha eltuvchilari osti va ma'lumotlarning murakkab elektron o'zgarishlaridan qochib bo'lmazligi bilan bog'liq, chunki kommutatsiya boshlanishidan avval ma'lumotlar va sarlavha demultipleksorlanishi kerak. Ikkinchi cheklanish murakkab signalning tola bo'ylab tarqalishining tavsifi bilan bog'liq. Sarlavha va ma'lumotlar aynan bitta eltuvchi chastotaning kanaliga multipleksorlangani uchun cheklangan resurs (imkoniyat)larga ega bo'lgan uzatkich har bir signal uchun yetarlicha quvvatni ta'minlashi kerak, bu esa signallarning quvvatini alohida-alohida kamaytiradi.

Ma'lumotlar asosiy eltuvchida uzatiladigan, sarlavha esa eltuvchi ostiga multipleksorlanadigan uslub SCM ning modifikatsiyasi hisoblanadi. Bu texnikada eltuvchi osti chastotasi ma'lumotlarni uzatishning bitli tezligini cheklamaydi. Sarlavha uzatishning yuqori

bitli tezligini talab qilmagani uchun unga signal/shovqinning chegaraviy nisbati ancha past bo'lishi mumkin, bu zarar keltirmagan holda tolali – optik liniyada signalning ko'proq so'nishiga olib keladi. Mazkur uslub ma'lumotlarni uzatishning 2,5 Gbit/s tezligi uchun va 3 GHz kenglikdagi eltuvchi ostiga multipleksorlangan sarlavhalarning 40 Mbit/s tezligi uchun namoyish qilingan [7].



12.9-rasm. Tarmoqlarda paketning tuzilmasi:

a – eltuvchi ostini multipleksorlash texnikasi bilan;

b – ko'p to'liqinli parallel bitli kommutatsiya texnikasi bilan

Ko'p to'liqinli bitli parallel kommutatsiya – bu kodlash texnikasi bo'lib, bunda ma'lumotlar va sarlavha uchun to'liqin uzunliklarining to'plari yozib qo'yiladi [8]. An'anaviy to'liqin multipleksorlashdan farqli ravishda (u yerda har bir paket ma'lum bir to'liqin uzunligi bilan bog'langan), bu texnikada paket (sarlavha kabi) bir necha to'liqin uzunliklari bilan bog'lanadi (12.9-b rasm).

Bir qator xususiyatlar bu texnikani to'liq optik tarmoqlarda foydalanish uchun SCM ga nisbatan ancha afzal qiladi. Birinchidan, to'liqin kanallarining oddiy optik filtrlanishi eltuvchisining radiochastotali ajralib chiqishiga nisbatan oson bajariladi. Ikkinchidan, sarlavhani kodlashni bajarish mumkin, shuning uchun ham sarlavhani kommutator aniqlaydi, kommutatsiya esa ma'lumotlar tezligidagi o'rniga paket tezliklarida yuz beradi. Va nihoyat, nurlanishning ayrim manbalari har bir to'liqin uzunligi uchun foydalanilgani uchun quvvatni yo'qotish bilan bog'liq muammo paydo bo'lmaydi.

12.5. Optik kommutatorlar asosida optik aloqa tarmoqlarini tuzish prinsiplari

Optik kommutatsiya to'liq ravishda multiservisli foton tarmoqlarini qurish imkoniyatlarini beradi. Optik kommutatsiyaning uchta turi: kanallarning optik kommutatsiyasi (KOK), paketlarning optik kommutatsiyasi (POK) va chayqalishlarning optik kommutatsiyasi (CHOK) ning qo'shilishi uzatish resurslarini dinamik taqsimlash imkoniyatlari bilan tarmoqni tashkil etishga imkon beradi. Bunday tarmoq 3 darajadagi xizmatlarni taqdim etishi mumkin:

- KOK darajasi orqali kanallarning optik kommutatsiyasini;
- CHOK darajasi orqali chayqalishlarning optik kommutatsiyasini;
- POK darajasi orqali paketlarning optik kommutatsiyasini.

Zamonaviy tarmoqlarda operatorlar xizmatlarning, asosan, ikki sinfini taqdim etadilar: 1) turli PDH/SDH/SONET yoki ATM interfeyslari orqali kanallarni kommutatsiyalab, odatdagi xizmatlar; 2) paketli kommutatsiyali xizmatlar (Frame Relay, x.25 va IP).

Bunday tarmoq arxitekturasida ikki darajadan iborat: intellektual foton darajasi va servis darajasi.

12.10-rasmda multiservisli fotonli tarmoq ko'rsatilgan. Turli manbalardan trafik (ovoz, ma'lumotlar va h.k.) foton tarmog'ining qismi bo'lmagan chet (o'lka) kommutatorlari tomonidan to'planadi. Kirish tarmog'i trafik grummingini, ancha past tartibdagi trafik oqimlarining multipleksorlashni va demultipleksorlashni hamda oraliq bo'g'inlarda lokal (mahalliy) kommutatsiyani amalga oshiradi. Chet (o'lka) kommutatorining kirishi ham elektrik, ham optik bo'lishi mumkin, lekin baza tarmog'i bilan ulanish elektrik jihatdan ishlov berib bo'lmaydigan tezliklarda tolali-optik muhit orqali amalga oshiriladi. Bunday to'la optik tarmoq kamida ikkita va undan ortiq kommutatsiya turlarini bir vaqtda qo'llab-quvvatlash mumkin, demak, o'z ichida paketli kommutatsiya samaradorligini va kanallar kommutatsiyasi bo'lgan tarmoqlarga xos bo'lgan tutilishlarning oldindan bilish mumkin bo'lgan qiymatlari va tutilishlar variatsiyasini birlashtiradi. Masalan, agar foydalanuvchi ma'lumotlarni uzatish xizmatidan foydalanishni istasa (foydalanuvchilarning juda ko'p sondagi uydagi Interneti trafigin birlashtirish), foton tarmog'ida

bunday so'rov (talab)ni paketli kommutatsiyali yoki chayqalishlar kommutatsiyasi orqali xizmat ko'rsatish haqida qaror qabul qilinadi.

Ikkinchi tomondan, tarmoq provayderi yoki «yirik foydalanuvchilar» kafolatlangan sig'imli, tutilishli va eng asosiysi tutilish variyatsiyali (video va tovushli trafik uchun) doimiy ulanishni so'rab qolishlari mumkin. Bu holda optik tarmoq talabni kanallar kommutatsiyasi orqali to'la xizmat ko'rsatadi.

Multiservisli foton tarmog'ida tarmoq operatorlarining 3 sathi (darajasi) belgilangan:

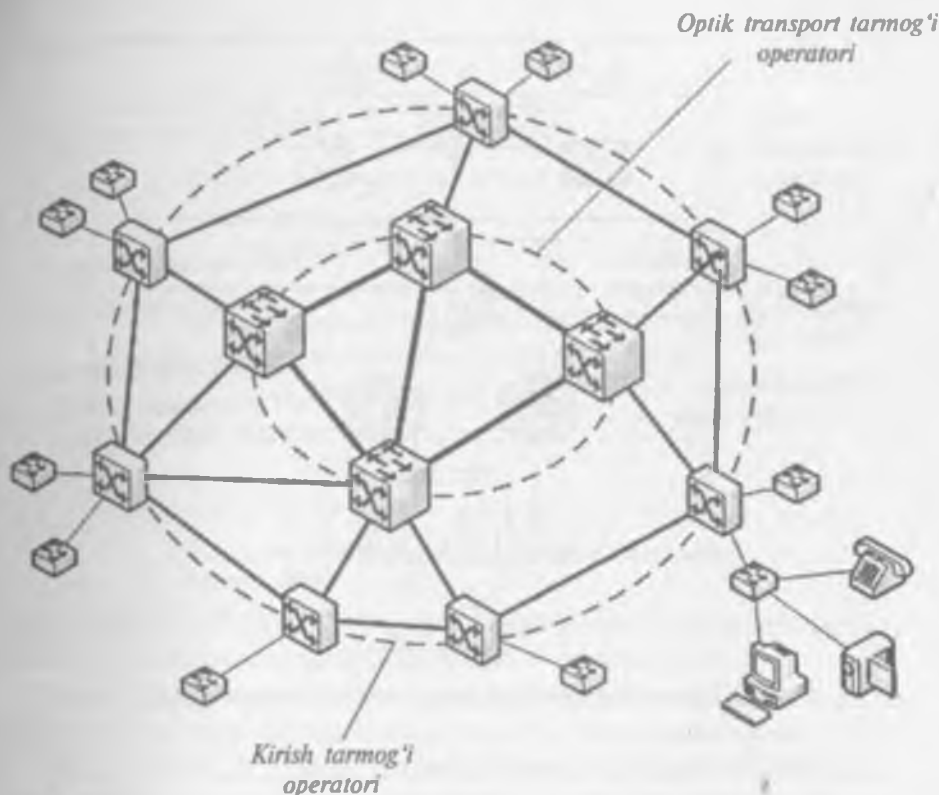
- kirish tarmog'i operatori (KTO) oxirgi foydalanuvchilar bilan to'g'ridan-to'g'ri ishlaydi. Bu darajada, trafik hajmlarining pastligini hisobga olib, KTO o'z foydalanuvchilariga paketlar kommutatsiyasi bilan interfeysni taqdim etish mumkin. Trafikning parametrlari va xizmat ko'rsatish darajasi (QoS) bu darajada trafikning uncha katta bo'lmagan hajmlari tufayli nazorat qilinishi mumkin. Trafikni tasniflash KTO marshrutizatorlarida amalga oshiriladi.

- magistral tarmoq operatorlari (MTO) kanallar kommutatsiyali trafik bilan (vaqtga sezgir bo'lgan trafik bilan) yoki KTO ning paketli trafigi bilan ishlaydi. Bu darajada katta hajmdagi trafiklarni uning parametrlari va xizmat ko'rsatish darajasini nazorat qilish sohasida boshqarish murakkab. Paketli kommutatsiyali va kanallar kommutatsiyali xizmatlar uchun alohida KTO lar foydalanishi mumkin;

- optik transport tarmog'i operatori (OTTO) o'z mijozlariga, ular MTO lar bo'ladi, kanallarning kommutatsiyalash xizmatlarini ham, paketlar kommutatsiyasini ham taklif etishi mumkin. MTO xuddi KTO kabi trafikning turli xillari marshrutlashtirish usullarini tanlab olishi mumkin. Masalan, MTO o'zining ayrim mijozlari trafiginu paketlar kommutatsiyasi o'rniga chayqalishlar kommutatsiyasi xizmati orqali yoki hatto kanallar kommutatsiyasi xizmati orqali yo'naltirishi mumkin.

12.10-rasmda faqat kirish tarmog'i va optik uzatish muhiti operatorlari ko'rsatilgan, bu paytda 12.11-rasmda esa operatorlarning hamma uch turi ko'rsatilgan.

12.12-rasmda multiservisli foton tarmog'ining ko'p sathli (darajali) arxitekturasi ko'rsatilgan. Ulardan quyidagi darajalar bor (pastdan yuqoriga qarab):



Kanallar, paketlar yoki
chayqalishlarni kommutatsiyalash
bilan optik bog'lama



Kirish bo'g'inlar (gigabit
marshrutizatorlari)



O'lka (chet) kommutatori, ya'ni
terabit marshrutizator

— Optik tola

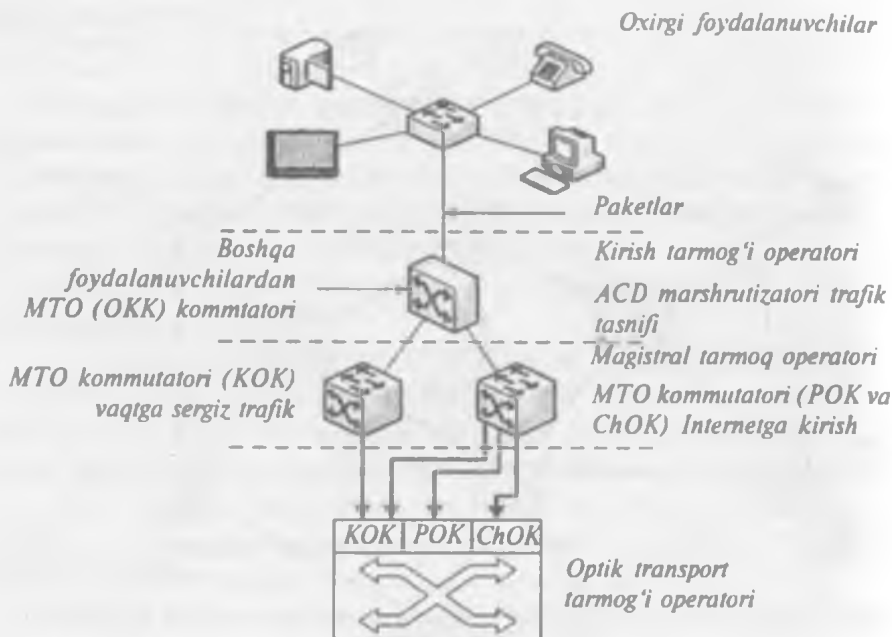
— Modullashtirilmagan
uzatish rejimli tola

12.10-rasm. Multiservisli foton tarmog'i

- optik uzatish seksiyasi;
- optik multipleks seksiyasi;
- optik kanal seksiyasi;
- optik kommutatsiya xizmatlari darajasi.

Optik kommutatsiya xizmatlari darajasi quyidagi parallel kichik darajalar (sathlar) ga bo'linadi:

- kanallarning optik kommutatsiyasi kichik darajasi;



12.11-rasm. Multiservis foton tarmog'i foydalanuvchilari

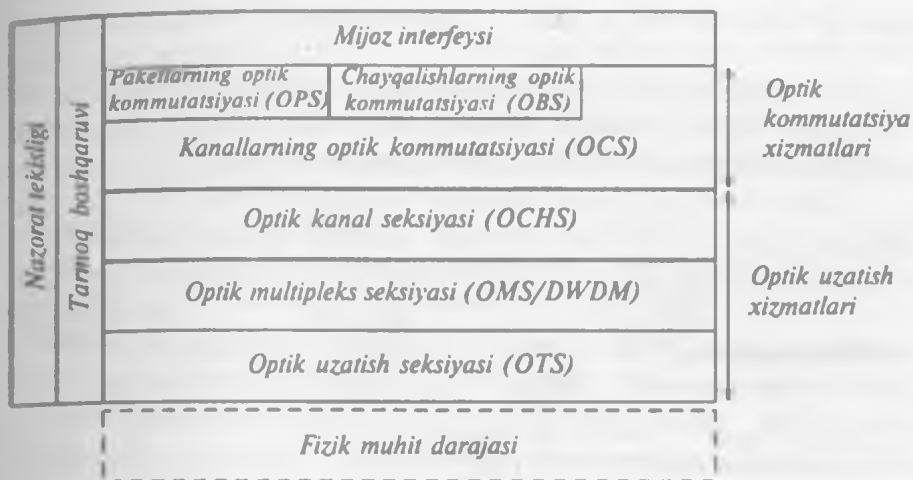
- paketlarning optik kommutatsiyasi kichik darajasi;
- chayqalishlarning optik kommutatsiyasi kichik darajasi.

Transport obyekti transport darajasining asosiy abstrakt (mavhum) birligi sifatida aniqlanadi (ta'riflanadi).

Multiservisli foton tarmog'ining har bir darajasini ko'rib chiqamiz. Optik uzatish seksiyasi ikkita faol komponentni (kuchaytirgichlar, multipleksorlar va demultipleksorlar) bog'lovchi optik tola sifatida aniqlanadi. Bu darajani tolali-optik daraja (sath) yoki tolali-optik zanjir deb atash mumkin, chunki u optik tolani (yoki tutashtiruvchi optik tolalarni) o'z ichiga oladi.

Xuddi optik uzatish seksiyasi kabi optik multipleks seksiyasi manba bo'g'indagi multipleksor va belgilangan joy bo'g'inidagi demultipleksor o'rtasidagi barcha to'lqin kanallarini o'z ichiga oladi. Fizik jihatdan optik multipleks seksiya optik kuchaytirgichlar va optik tolalarni o'z ichiga oladi.

Optik kanalli seksiya — bu bitta to'lqin optik kanaldan foydalangan holdagi nuqta-nuqta ulanishdir. Shunday qilib, fizik



12.12-rasm. Multiservisli foton tarmog'i darajalari

optik kanal seksiyasi bir nechta multipleksli optik seksiyalar, multipleksorlar va demultipleksorlarni o'z ichiga oladi.

Kanallarning optik kommutatsiya darajasi yorug'lik yo'llari va boshqa transport obyektlarini kanallar kommutatsiyasi bilan ta'minlaydi. Yuqori darajalar optik kanal darajasi interfeysidan tarmoqda kanallar kommutatsiyasi bilan trafikni marshrutlashtirish uchun foydalanadi.

Kanallar kommutatsiyasi darajasi bilan taqdim etiladigan transport obyektlari quyidagilardan iborat (12.13-rasm):

- to'liqlik optik kanal (λ) – ikkita to'g'ridan-to'g'ri ulangan bo'g'inlar orasiga o'rnatilgan, «nuqta-nuqta» bir tomonga yo'naltirilgan transport obyekti;

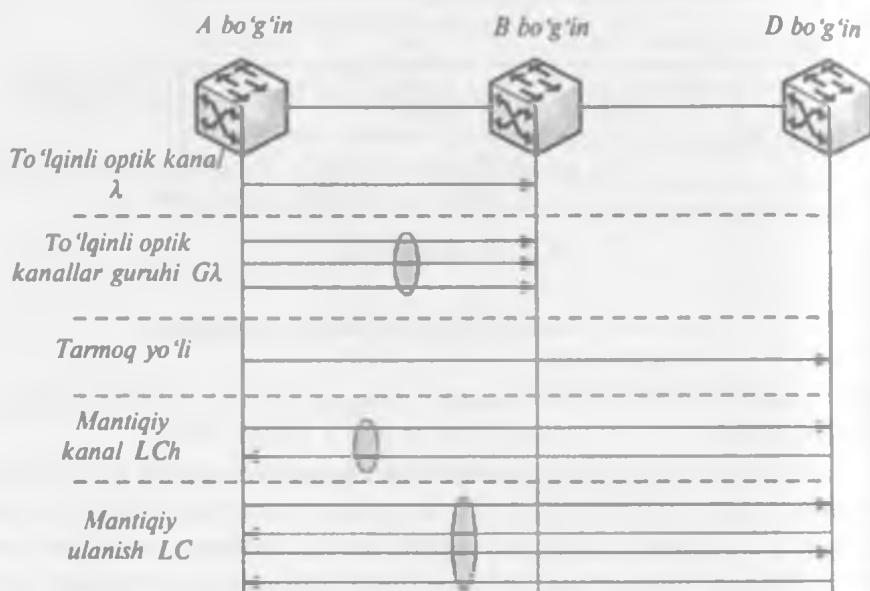
- to'liqlik optik kanallar guruhi ($G\lambda$) – MSFS da chastotalar diapazoni kommutatsiyasi konsepsiyasini qo'llab-quvvatlaydi;

- yorug'lik yo'li (λ) – ikki bo'g'in orasiga o'rnatilgan, bir tomonga yo'nalgan «nuqta-nuqta» transport obyekti. To'liqlik optik kanallar guruhini o'z ichiga oladi.

Mantiqiy kanal (LCh) – ikki tomonlama ochiq transport obyekti bo'lib, u tutilish va tutilish variatsiyasi kabi uzatishning turli ko'rsatkichlari bo'yicha o'xshash bo'lgan ikkita yorug'lik yo'llaridan iboratdir.

Mantiqiy ulanish — bitta yoki undan ortiq mantiqiy kanallardan iborat butun ochiq ulanish.

Paketlarning optik kommutatsiya darajasi paketlarning optik kommutatsiyasini amalga oshiradi. Bu daraja ichidagi darajaning ichidagi transport obyektlari quyidagilardan iborat:



12.13-rasm. Kanallarning optik kommutatsiyasining transport obyektlari

Paket — paketlar kommutatsiyasi bilan tarmoqlardagi asosiy transport obyekti. Bu mustaqil transport birligi bo'lib, u paketning sarlavhasida marshrutlashtirish to'g'risidagi barcha zarur axborot bo'lgan mustaqil transport birligidir.

Almashuv — optik tarmoqda bitta yo'l bilan uzatiladigan paketlar seriyasidir. Trafik va QoS ning ma'lum parametrlari almashuv ichida doimiy (o'zgarmas) deb faraz qilinadi.

Ulanish — xizmat ko'rsatish darajasi to'g'risidagi kelishuv bilan belgilanadigan, oxirgi bo'g'inlar orasidan uzoq muddatli transport obyekti. Ulanish faol bo'lib turgan interval (oraliq) davomida oxirgi bo'g'inlar orasida uzilish, ortiqcha yuklanish yoki boshqa sabablar bo'lganda paketni marshrutlashtirish uchun turli yo'llardan foyda-

lanish mumkin. Shunday qilib, ulanish bir nechta almash-tirishlardan iborat.

Chayqalishlarning optik kommutatsiyasi darajasi chayqalishlarning optik kommutatsiyasi prinsipini amalga oshiradi, u quyidagi transport obyektlaridan foydalanadi: chayqalish, almashuv, ulanish. Transport hajmlarini aniqlash xuddi OKT lar kabi.

Nazorat tekisligi darajasi. Multiservisli foton tarmog'i quyidagi xizmatlarni taqdim etuvchi GMPLS nazorat tekisligi xizmatlaridan foydalanadi:

— ochiq ulanishni avtomatik taqdim etish — so'rovga boshqarishning tarmoq stansiyasida ishlov beriladi. Dasturiy ta'minot eng yaxshi marshrutni aniqlaydi va signal protokollari orqali qaror tarmoqqa qo'llaniladi. Talab (so'rov) kommutatsiya turini (OKK, OKP va OKV) va tanlab olingan kommutatsiya turi bilan bog'liq qo'shimcha parametrlarni aniqlaydi. Agar tarmoqda bo'sh resurslar bo'lmasa, so'rov rad qilinishi (qabul qilinmasligi) mumkin.

Talab bo'yicha o'tkazish polosasi (BoD) yorug'lik yo'li kabi, qo'shimcha transport obyektlariga dinamik so'rovlar qilishga, shuningdek, mantiqiy xonalarni mantiqiy bo'shatishni amalga oshirishga imkon beradi.

Trafikni avtomatik tartibga solish.

Optik virtual xususiy tarmoq O-VPN — foydalanuvchiga foton tarmog'ining ma'lum qismining tarmoq resurslarini to'liq nazoratni amalga oshirishga imkon beradi. Foydalanuvchilar tarmoqning bu qismini tarmoq resurslari ustidan to'liq nazorat qilsalar ham, O-VPN bor-yo'g'i tarmoqning mantiqiy qismidir va oxirgi foydalanuvchilar butun operator tarmog'ini ko'rmaydi va unga kira olmaydi. Xizmat oxirgi foydalanuvchilarga turli xil transport obyektlarini taqdim etishga imkon beradi. Oxirgi foydalanuvchilar foton tarmog'ining berilgan qismi ichida ulanishlarni yarata oladi va yo'q qila oladi.

12.14-rasmda multiservisli foton tarmog'i bo'g'inining tuzilishi ko'rsatilgan.

Foton tarmog'ining barcha komponentlari quyidagi sinflarga bo'linadi:

- kommutatsion elementlar;
- transport interfeyslari;

- tarmoqni boshqarish elementlari va interfeyslari.
- Bo'g'inda quyidagi kommutatsion elementlar mavjud:
- tolalarning optik kommutatori (OFX);
- kanallarning optik kommutatori (OPX);
- paketlarning optik kommutatorlari (OPX);
- chayqalishlarning optik kommutatori (OBX);
- mijozlar interfeyslari kommutatori (CIX).

Foton tarmog'i bo'g'ini kommutatsion elementlar orasidagi interfeyslarni qo'llab-quvvatlaydi:

- kanallar kommutatsiyasini qo'llab-quvvatlovchi interfeys (CSCI);
- paketlar kommutatsiyasini qo'llab-quvvatlovchi interfeys (PSCI);
- chayqalishlar kommutatsiyasini qo'llab-quvvatlovchi interfeys (BSCI).

Yuqorida sanab o'tilgan ichki interfeyslardan tashqari bo'g'in so'rov (talab)larga foydalanuvchi – tarmoq interfeysi (UNI) orqali xizmat ko'rsatadi.

Tarmoqni boshqarish va nazorat qilish elementlari hamda interfeyslari:

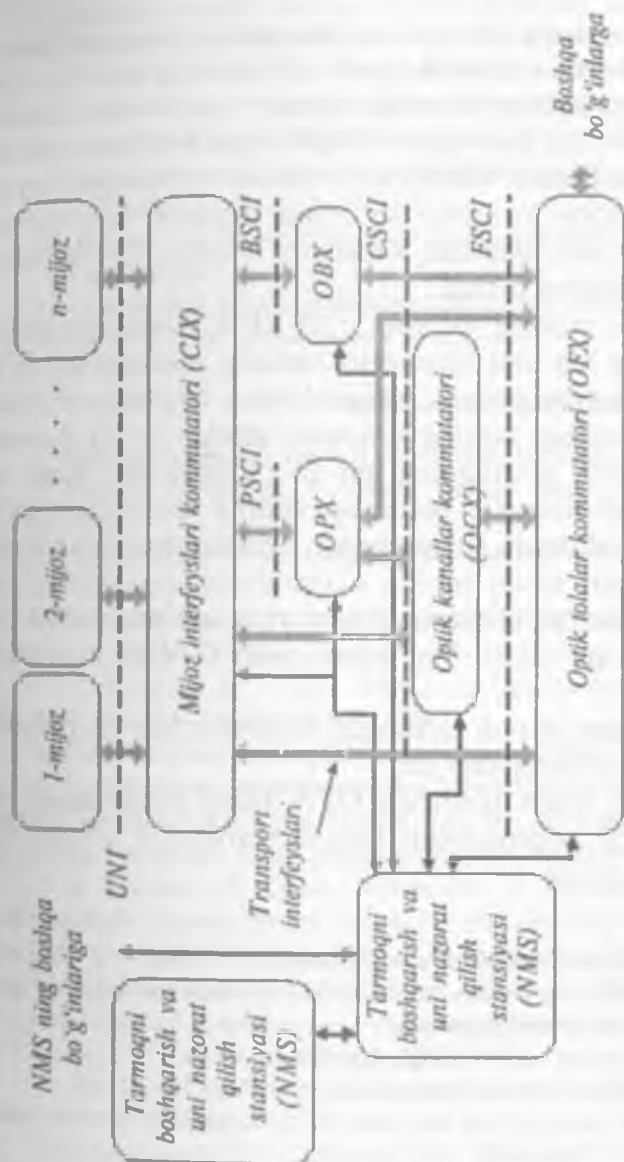
- tarmoqni boshqarish va nazorat qilish bo'g'ini;
- tarmoqni boshqarish va nazorat qilish stansiyasi;
- boshqarish va nazorat qilish interfeysi.

Xulosa

Shunday qilib, optik kross-konnektorlar negizidagi to'liq optik tarmoqlar elektron kommutatsiya sistemalari negizidagi optik tarmoqlarga nisbatan quyidagi afzalliklarga ega:

1) uzatilayotgan axborotning sig'imi. Optik kross-konnektorlar optik tolaning o'tkazish polosasidan yanada to'laroq foydalanishga imkon beradi, buning hisobiga tarmoq bo'yicha uzatilayotgan axborotning sig'imi ko'p marta ortadi;

2) qarab chiqilgan tarmoq multiservis tarmoq hisoblanadi. Telekommunikatsion xizmatlarning butun spektrini jalb qilish va foydalanish uchun foydalanuvchi ko'pgina turli operatorlar va provayderlarga murojaat qilishi kerak emas, barcha xizmatlardan



OPX – paketlarning optik kommutatori,
 OBX – chayqalishlarning optik kommutatori.

12.14-rasm. Multiservisli foton tarmog'i bo'g'inining umumiy tuzilishi

foydalanuvchilar tarmoqning bitta operatori bilan qoniqlashlari mumkin;

3) fotonli tarmoq keng miqyosli hisoblanadi va yangi iste'molchilarni osonlik bilan ulanishga jalb qilishga imkon beradi. Telekommunikatsiya tarmog'ida yangi daraja — intellektual fotonli darajaning paydo bo'lishi hisobiga tarmoqda yangi imkoniyat paydo bo'ldi — o'tkazish polosasini talabga ko'ra ajratish imkoniyati paydo bo'ladi, u qo'shimcha transport sig'imiga dinamik so'rovlarga xizmat ko'rsatishga, shu jumladan, kanallarni mantiqiy bo'shatishni amalga oshirishga imkon beradi;

4) optik virtual xususiy tarmoq — O-VPN foydalanuvchiga fotonli tarmoqning ma'lum qismining tarmoq resurslarini to'la nazorat qilishga imkon beradi. Xizmatlardan foydalanuvchilar tarmoqning bu qismidagi tarmoq resurslari ustidan to'liq nazorat qilsalar ham, O-VPN tarmoqning bor-yo'g'i mantiqiy qismi va xizmatlardan foydalanuvchilar butun operatorlik tarmog'ini ko'r-maydi va unga kira olmaydi. Xizmatlardan foydalanuvchilar fotonli tarmoqning berilgan qismi ichida ulanishlarni yaratishlari va yo'qotishlari mumkin, ya'ni xizmatlarning yirik iste'molchilari o'z optik tarmoqlarini qurishlari shart emas, balki O-VPN xizmatini ulashlari yetarli;

5) qarab chiqilgan fotonli tarmoqda himoya qilish va tiklash-larning turli xil texnikalari mavjud;

6) multiservisli foton tarmog'i OTN bilan himoyalash va tiklashning turli xil topologiyalari hamda texnikalari o'rtasidagi o'zaro aloqani bor qiladi.

Nazorat savollari

1. Zamonaviy axborot xizmatlariga qanday talablar qo'yiladi?
2. Axborot xizmatlarining qanday talablari telekommunikatsiyalarning optik tarmoqlari xususiyatlarini belgilaydi?
3. Fotonli tarmoq modeli nechta daraja (sath)dan iborat?
4. To'liqinli multipleksorlashning mohiyati nimadan iborat?
5. Shu kunga kelib optik tarmoq deb ataluvchi tarmoqlarning qanday turlari mavjud?
6. To'liq optik tarmoqlar qanday mezonlarga bo'linadi?
7. PON nima?
8. Keng eshittirishli optik tarmoqda A stansiya B stansiyaga axborotni qay tarzda uzatadi?

9. *Passiv to'liqlik marshrutizatsiyali optik tarmoqning aktiv to'liqlik marshrutizatsiyali optik tarmoqqa nisbatan afzalliklari va kamchiliklari nimada?*
10. *Pakettar kommutatsiyali to'liqlik optik tarmoqning xususiyatlari nima?*
11. *To'liqlik optik tarmoqda kommutatsiyaning qanday turlari mavjud?*
12. *Ketma-ket bitli kommutatsiyaning parallel bitli kommutatsiyaga nisbatan afzalliklari va kamchiliklari nimada?*
13. *Aloqa operatorlari zamonaviy tarmoqlarda qanday xizmatlar turlarini taqdim etishadi?*
14. *Multiservisli foton tarmoqlarida tarmoq operatorlarining qanday darajalari belgilangan?*
15. *Multiservisli foton tarmog'ining darajalarini tavsiflang.*
16. *O-VPN optik virtual xususiy tarmoq nima?*

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Optical Switching. Tarek S. El-Bawab. Springer. 2006.
2. Optical. Switching. Networks. Martin Maier. Cambridge. University. Press. 2008.
3. *Убайдуллаев Р.Р.* Волоконно-оптические сети. М.: Эко-Трендз. 2001. 267 с.
4. Three All-Optical Network Types. IBM, 1995, <http://www.research.ibm.com/wdm/motive/roadmap.html>.
5. J. Hudgings & J. Nee. «WDM All-Optical Networks EE228A Project Report», EE228A Project Report, 1996.
<http://www-bsac.eecs.berkeley.edu/~jnee/ee228a/>.
6. L.A Backman. «Applications in Optical Communications: Optical Transmission of Millimeter-Wave Signals; and, An All-Optical Wavelength-Routed Switching Network». Ph.D. thesis. University of California, Berkeley, 1996.
7. A. Budman, E. Eichen, J.Schalafer, R. Olshansky and F. McAleavey. «Multigigabit Optical Packet Switch for Self-routing Network with Subcarrier Addressing», in OFC'92 (San JOse, CA) 1192, paper Tu04, pp. 90–91.
8. D.J. Blumenthal, P.R. Prucnal and J.R. Sauer. «Photonic Packet Switches: Architecture and Experimental implementations». Proceedings of the IEEE, vol.82, no.11, November, 1994, pp.1650–1665.
9. Dawning James N. Fiber optik communication. Publisher: Cengage learning Sep, 2004. — 444 p.
10. Гольдштейн Б.С., Соколов Н.А., Яковский Г.Г. Сети связи: учебник для ВУЗов. СПб.: БХВ— Петербург. 2010. — 400 с.
11. Гордиенко В.Н., Тверецкий М.С. Структура и интерфейсы фотонной сети. № 1, 2011. стр. 26-29.

6-bo'lim

TOLALI OPTIK ALOQA TIZIMLARI VA TARMOQLARINI TEXNIK EKSPLOATATSIYA QILISH

13-bob. TOLALI OPTIK ALOQA TIZIMLARI VA TARMOQLARINI TEXNIK EKSPLOATATSIYA QILISH VA BOSHQARISHNI TASHKIL ETISH BO'YICHA ASOSIY QOIDALAR

13.1. Texnik ekspluatatsiya jarayonini tashkil etish

Zamonaviy TOAT (tolali optik aloqa tizimi) jihozlarning ko'p funksionalligi (signallarni generatsiyalash va o'zgartirish, ularni filtrlash va kuchaytirish, korreksiyalash va regeneratsiyalash va boshqalar), ko'plab o'zaro bog'liq element va qurilmalarning mavjudligi, ularning ish sifati darajasining turiligi va murakkabligi bilan farq qiladi. Tolali optik uzatish tizimlarining bir yoki boshqa tugunlarida bitta yoki hattoki, bir necha elementlarning rad etishi tizimning ish qobiliyatini butunlay yo'qotishiga olib kelmaydi, faqatgina uning ish sifati va samaradorligini kamaytiradi.

TOAT jihozlarning murakkablashuvi, ularning o'tkazish qobiliyatining o'sishi, kanal va traktlar sonining ko'payishi, ularning ish mexanizmiga axborot texnologiyalarining kiritilishi, ularning ishonchliligi va sifat barqarorligini oshirish zaruriyatini yuzaga keltiradi va ekspluatatsiyasini tashkil etishga bo'lgan talablarni aniqlaydi. TOAT texnik ekspluatatsiyasining asosiy atama va tushunchalarini ko'rib chiqamiz.

Ekspluatatsiya so'zi nimadandir foyda olishni yoki ishlatishni anglatadi (keng ma'noda inson tomonidan ishlab chiqaruvchi kuchlarni talab va ehtiyojlarni qondiruvchi biror-bir amaliy maqsadlar uchun tizimli ishlatilishini anglatadi) [1]. Ekspluatatsiya — TOAT ish davrining hayotiy bosqichi bo'lib, o'zida TOAT qurilmalarini sozlash va montaj qilishni, uni vazifasi bo'yicha ishlatishni, profilaktik texnik xizmat ko'rsatishni, rad etishlardan keyin qayta tiklash va ta'mirlashni mujassamlaydi. TOAT va uzatish liniyalari

qurilmalari ishining maksimal samaradorligiga erishishga yo'naltirigan tashkiliy-texnik tadbirlar va axborot-dasturiy vositalar majmuasi texnik ekspluatatsiya (TE) tizimini tashkil etadi. Ekspluatatsiya jarayoni inson tomonidan bevosita yoki vositalar orqali texnik ekspluatatsiya obyekti (TEO)ga ta'sir etish yo'li bilan amalga oshiriladi. TEOga tolali optik uzatish tizimi, ularning apparaturasi va uskunasi, qurilmalari, tugunlari, bloklari va elementlari kiradi. Tolali optik uzatish tizimining tarkibiy qismi, masalan KHQQ – kanal hosil qiluvchi qurilma, uzatish liniyasi, oraliq kuchaytirgichlar va regeneradorlar elementlar deyiladi. TE jarayonida ekspluatatsion operatsiyalarni amalga oshiruvchi kishilar xizmat ko'rsatuvchi yoki texnik xodim deyiladi. TE jarayoni, uning qonuniyatlari, xarakteristikalar, tashkil etish va amalga oshirish usullarini o'rgatuvchi fan texnik ekspluatatsiya nazariyasi hisoblanadi.

Texnik ekspluatatsiya – aloqa korxonalarining ishlab chiqarish faoliyatining asosiy qismi hisoblanadi. Tarmoqning texnik ekspluatatsiyasi texnik xizmat ko'rsatish usullari va algoritmlari majmuasini namoyon etib, istalgan texnik ekspluatatsiya obyektining o'rnatilgan normalarini talab darajasida saqlaydi va tashkil etadi.

Texnik ekspluatatsiyada texnik xizmat ko'rsatish va ta'mirlash asosiy tushinchalardan hisoblanadi:

- texnik xizmat ko'rsatish (TXK) – xizmat muddati davomida TEOning vazifasi bo'yicha ishga qobiliyatlilik va sozligini ta'minlash bo'yicha bajariladigan ishlar majmuasi;

- ta'mirlash – TOAT va uning elementlarining sozligini qayta tiklash bo'yicha amalga oshiriladigan ishlar majmuasi.

Uzatish tizimlari, ularning elementlari soz va nosoz holatda bo'lishi mumkin. Soz holat, bu UT yoki uning elementlari normativ texnik hujjatlarda (NTX) belgilangan barcha talablarga mos keladigan holat. Nosoz holat, bu UT yoki uning elementlari NTX talablari-dan hech bo'lmaganda biron-biriga mos kelmaydigan holat. Nosoz holat obyektlarni berilgan funksiyalarni bajarishi mumkin emasligini bildirmaydi [2]. UT apparaturasi va qurilmalari ishga qobiliyatlilik bilan xarakterlanadi, ya'ni bu shunday holatki, ma'lumotlarni uzatish bo'yicha berilgan funksiyalarni kanallar va traktlarning asosiy parametrlarining qiymatlarini NTXda belgilangan chegaralarda saqlash bilan bajaradi [2].

Texnik ekspluatatsiyaning asosiy maqsadi – rad etish holatlarining hosil bo'lishini va ularning ta'sirini kamaytirish hisoblanadi.

Rad etish deb, TOAT yoki elementning bir yoki bir necha parametrlarini belgilangan qiymatlardan og'ishi natijasida berilgan funktsiyani bajarishda to'liq yoki ma'lum bir miqdorda ish qobiliyatini yo'qotishiga aytiladi. Boshqacha aytganda, rad etish deganda TOATning ishga qobiliyatliligidan to'liq buzilishi, bundan tashqari, belgilangan chegaradan ham past sathda uning asosiy sifat ko'rsatkichlarini pasayishi tushuniladi. TOAT rad etgandan keyin ish qobiliyatini to'liq yo'qotishi mumkin yoki past sifat bilan ishni davom ettirishi mumkin.

TOAT va uning elementlarining ekspluatatsiyasi uchun zarur bo'lgan ekspluatatsiya materiallari va asboblari, zaxira blok va texnik qurilmalar majmuasi ekspluatatsiya vositalari deyiladi.

TE quyidagi hollarda amalga oshiriladi:

- obyektning ekspluatatsiyaga kiritishda (pasport tayyorlashda);
- ekspluatatsiya jarayonida sozlik holatini saqlash (texnik xizmat ko'rsatish);

- rad etish yuzaga kelganda obyektning ishga qobiliyatliligidan qayta tiklash (ta'mirlash-sozlash va ta'mirlash-qayta tiklash ishlari).

TE jarayoniga quyidagilar kiradi:

- ishchi xarakteristikalarini o'lchash;
- rad etishlarni topish;
- ishchi xarakteristikalar va rad etishlarda signalizatsiya;
- zaxiralash;
- ishga qobiliyatliligidan qayta tiklash;
- nazorat qilish (qayta tiklashdan so'ng).

Texnik xizmat ko'rsatish (TXK)ning quyidagi usullari tavsiya etiladi:

- profilaktik texnik xizmat ko'rsatish (PTXK), ma'lum vaqt oralig'idan keyin yoki oldindan belgilangan mezonlarga mos ravishda bajariladi va rad etish yuzaga kelishi yoki TEO funktsiyalarining yomonlashuvi mumkinligi haqida o'z vaqtida ogohlantirishga yo'naltirilgan;

- to'g'rilovchi texnik xizmat ko'rsatish (TTXK), TEOning ishga noqobiliyatlilik holati aniqlangandan keyin bajariladi va TEOning sifat parametrlarini o'rnatilgan doirada bo'lishiga yo'naltirilgan;

– boshqariladigan texnik xizmat ko'rsatish (BTXK), TEO ishchi xarakteristikalarini nazorat qiluvchi, uzatish sifatini boshqarish va nosozliklarni bartaraf etish vositalarini qo'llab, TEO holatini tahlil qiluvchi usullarni tizimli ishlatish yo'li bilan bajariladi va profilaktik xizmat ko'rsatishni minimumga yetkazishga va to'g'rilovchi texnik xizmat ko'rsatishni qisqartirishga yo'naltirilgan.

Profilaktik texnik xizmat ko'rsatish quyidagilarni o'zida namoyon etadi:

- davriy ekspluatatsion nazorat;
- ishchi xarakteristikalarini rejali o'lchash;
- apparatura komponentlarini rejali almashtirish.

To'g'rilovchi texnik xizmat ko'rsatish quyidagilarni o'zida namoyon etadi:

- uzluksiz ekspluatatsion nazorat;
- epizodik ekspluatatsion nazorat;
- operativ-texnik nazorat;
- ishchi xarakteristikalarini o'lchash.

Boshqariladigan texnik xizmat ko'rsatish o'zida quyidagilarni namoyon etadi:

- uzluksiz ekspluatatsion nazorat;
- operativ-texnik nazorat;
- ishchi xarakteristikalarini o'lchash.

Raqamli TOAT uchun TTXK afzalroq hisoblanadi, chunki unda aloqani uzmagani holda xatolik koeffitsiyent (yoki xatolik ko'rsatkich)lari bo'yicha rad etishlarni aniqlash mumkin. TTXKda texnik xizmat ko'rsatishga ketadigan vaqt, ya'ni rad etish joyini aniqlash va qayta tiklash bo'yicha ishlarni boshlashga ketadigan vaqt kamaytiriladi. Bunga, ayniqsa, optik kabelli raqamli uzatish tizimlari uchun samarali bo'lgan, optimal qayta tiklash strategiyasini qo'llash bilan erishiladi. Rad etishlarni bartaraf etish (qayta tiklash) bilan bog'liq ishlar, TTXK uchun xos bo'lgan, aloqani uzgan holda amalga oshiriladi.

TOA vositalari va ularni boshqarish tarmog'i rivojlanishining zamonaviy bosqichida BTXK birinchi ahamiyatga ega, chunki PTXK va TTXK ga nisbatan, yuzaga kelishi mumkin bo'lgan rad etishlarni topish va bartaraf etish, shuningdek, TTXKni aloqani uzmasdan amalga oshirish va ishga qobiliyatligini qayta tiklash

imkonini beradi. Shuning uchun zamonaviy TOAT da yuqori sifatli TE ni ta'minlovchi BTXK qo'llaniladi.

TEO bilan birgalikda yordamchi TEO (YoTEO) ham mavjud, ular bevosita ma'lumotlarni uzatish funksiyasini bajarmaydi (rad etishlarni aniqlash, xizmat signallarini uzatish, avariya signalizatsiyalari, tashqi nazorat va boshqaruv tizimlari bilan muvofiqlashtiruvchi qurilmalar).

Bir yoki bir necha YoTEOga ega, bir yoki bir necha TEO tarmoq elementini tashkil etadi. BTXKdan foydalanishga asoslangan, zamonaviy TOA vositalari uchun tarmoq elementi tarkibiga kiruvchi TEOLari boshqariluvchi obyektlar hisoblanadi.

Ekspluatatsion nazorat TE jarayonida TEOLarini o'rnatilgan talablarga mosligini aniqlashni namoyon etadi.

Ekspluatatsion nazoratda TEO ishchi xarakteristikalarining normaga mosligini aniqlash va ish sifati buzilganligi yoki ishchi xarakteristikalarni normadan og'ganligini aniqlash amalga oshirilib, TEOning ish sifatini baholash ta'minlanadi.

Ekspluatatsion nazorat TEO tarkibiga kiruvchi dasturiy-texnik vositalar va nazorat qurilmalari yoki avtonom o'lchov vositalari, shuningdek, o'lchashlarni avtomatlashtirish va ularning natijalarini qayd etishni ta'minlovchi qurilmalar yordamida amalga oshiriladi.

Rad etishlarni sinflash uchun anomaliya va defekt tushunchalari qo'llaniladi.

Anomaliya — bu obyekt parametrining joriy qiymati va talab etiladigan qiymati orasidagi farq. Anomaliya obyektning talab etiladigan funksiyalarini bajarish qobiliyatiga ta'sir etishi yoki ta'sir etmasligi mumkin.

Obyektning talab etiladigan funksiyasini bajarish qobiliyatining chegaralanishi defekt hisoblanadi. U qo'shimcha tahlil natijalarini baholashga bog'liq holda TE bo'yicha faoliyatni talab etishi yoki talab etmasligi mumkin.

TEOning talab etiladigan vazifasini bajarish qobiliyatining kamayishiga olib keluvchi anomaliyalar ketma-ketligi defekt sifatida ko'riladi. Nazorat uzluksiz va birgalikda olib boriladigan uch jarayondan iborat:

1) anomaliyalarni aniqlash uchun nazorat jarayoni (qisqa muddatli davr);

2) defektlarni aniqlash uchun nazorat jarayoni (o'rta muddatli davr);

3) sifat yomonlashuvlarini aniqlash uchun nazorat jarayoni (uzoq muddatli davr).

Har bir jarayon anomaliya va defektlar haqidagi ma'lumotlarni to'plash bilan olib boriladi. Anomaliya va defektlarning nazorat jarayonlari mos ravishda anomaliya va defektlarning yuzaga kelishini ko'rsatadi. Sifat yomonlashuvining nazorat jarayoni TEOning sifat darajasini aniqlaydi va sifat norma darajasidami, yomonlashganmi yoki norma darajasidan chiqib ketganligini aniqlaydi. Bu sifat sathlari berilgan vaqt oralig'ida olingan va tahlil qilingan anomaliya va defekt haqidagi ma'lumotlar asosida aniqlanadi. Yomonlashuv va norma darajasidan chiqib ketgan sifat ko'rsatkichlarini ajratuvchi chegaralar va kuzatish davri har bir defekt uchun tasdiqlangan ishga noqobiliyatlilik holati, anomaliya yoki defekt paketlari har bir TEO uchun aniqlanadi. Ishchi parametrlarning yomonlashgan va normadan chiqib ketgan qiymatlarining indikatsiyasi, har bir chegaradan og'ish aniqlanganda beriladi. Bu jarayon 13.1-rasmda ko'rsatilgan [1].

Turli datchiklardan birlamchi axborot signallari har bir TEO dan qayta ishlash blokiga beriladi yoki joyida qayta ishlanadi. Ishchi xarakteristika ko'rsatkichlari shu axborot asosida aniqlanadi. ES va SES xatolik ko'rsatkichlari deb ataladigan har bir ishchi xarakteristika ko'rsatkichlari, TEOning ish sifati ko'rsatkichini hisoblash uchun alohida qayta ishlanadi.

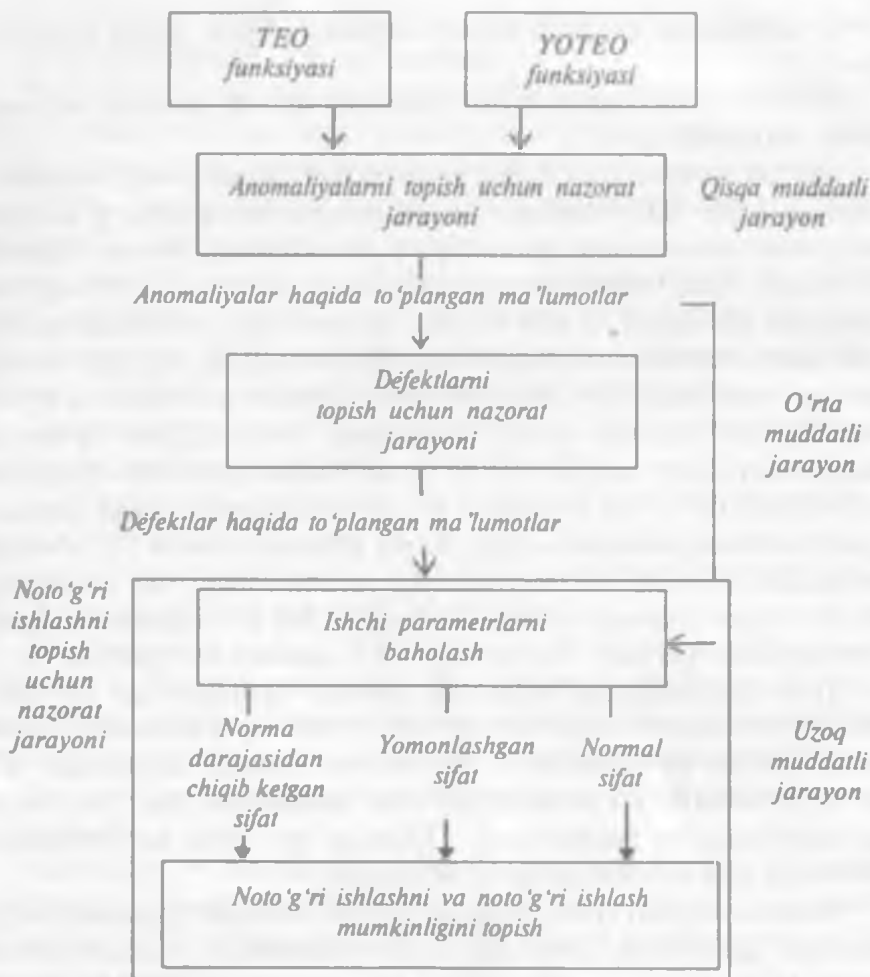
Nazorat obykti (NO) deganda, texnik vositalar (kanallar, liniya traktlari, apparatura, qurilmalar, ayrim elementlar), ularning texnik holati to'g'risidagi kerakli bo'lgan axborotlar tushuniladi. Sanab o'tilgan obyektlarning texnik holatini baholash uchun ularning nazorat qilinadigan parametrlari deb ataluvchi miqdor va sifat tavsiflari aniqlanadi.

Ahamiyatliligi bo'yicha parametrlarning quyidagi turlari mavjud:

– aniqlovchi – uning nazorati TEO umumiy ish qobiliyatini baholash imkonini beradi;

– bashoratlovchi – TEOning texnik holatini bashorat qilish uchun, zarur bo'lsa, axborotni saqlaydi;

– avariya – TEO ishida avariya rejimi kutilayotganligini aniqlovchi parametrlar.



13.1-расм. Техник эксплуатация объектининг noto'g'ri ishlashini topish jarayoni

Nazorat qilinuvchi parametrlarni tanlashda quyidagilarni hisobga olish kerak:

- TEO ish samaradorligiga parametrlarning ta'sir darajasi;
- parametrlarning nominal qiymatlardan og'ish kattaligi;
- nazorat qilinuvchi parametrlarning taqsimot qonuni;
- bog'liq emaslik (korrelatsiyaning mavjud emasligi) yoki parametrlarning sozlik darajasi;

– nazorat narxi, ya'ni ushbu turdagi nazorat yoki o'lchashlarni o'tkazishni ta'minlash uchun sarf etiladigan xarajatlar.

Raqamli TOAT uchun holatlarning umumiy baholanishini aniqlash, barcha TEOLari uchun amalga oshirilishi kerak.

Raqamli tolali optik aloqa tizimlarining nazorat obyektlari quyidagi holatlar bilan baholanadi:

NORMA – sifat parametrlari va NO elementlari o'rnatilgan doirada bo'ladi;

OGOHLANTIRISH – sifat parametrlari o'rnatilgan doirada bo'ladi, NO elementlarining parametrlari, rejim va ish sharoiti NO rad etishi mumkin bo'lgan qiymatlardan oshishidan dalolat beradi (ma'qul sifat).

BUZILISH – NO rejimining buzilishi natijasida sifat parametrlari o'rnatilgan doiradan chiqadi yoki ularda nosozliklar vujudga keladi, biroq NO ishga qobiliyatlilik holatini saqlaydi (yomonlashgan sifat);

AVARIYA – NO rejimining buzilishi natijasida sifat parametrlari o'rnatilgan doiradan chiqadi yoki ularda nosozliklar vujudga keladi, buning oqibatida NOning rad etishi kuzatiladi (norma darajasidan chiqib ketgan sifat).

Operativ-texnik nazorat bevosita TOAT nazorat obyekti ekspluatatsiyadan chiqarmasdan amalga oshiriladi. Nazorat obyektining NORMA, BUZILISH va AVARIYA turdagi holatlari haqidagi ma'lumotlar boshqarish tizimiga uzatiladi.

Nazorat obyektining nosoz uchastkalari TE markazida NO holatining o'zgarganligi haqidagi axborotni tahlil qilish yo'li bilan aniqlanadi.

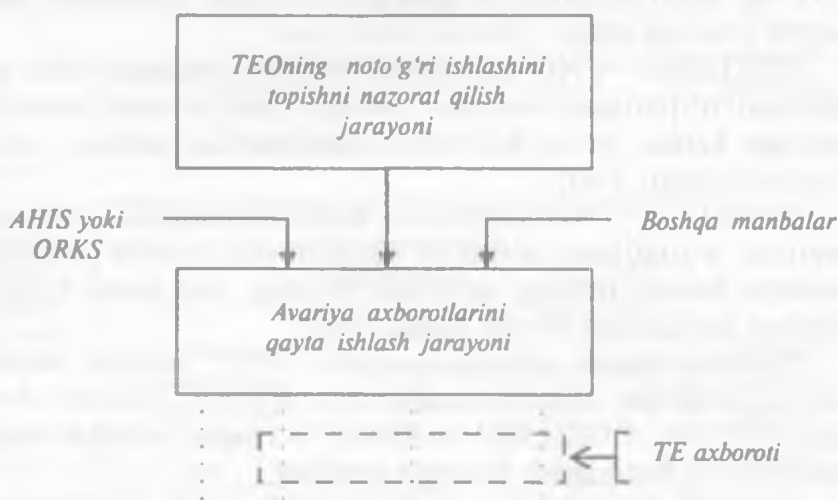
13.2-rasmda TEO haqida TE axborotini qayta ishlash jarayoni ko'rsatilgan, bunda noto'g'ri ishlashni topish nazorat jarayonidan boshlangan.

TEOda OGOHLANTIRISH axborot signali yoki BUZILISH va AVARIYA kabi axborot signallari berilishi yoki berilmasligi mumkin. Qachon signal TEOdan tashqarida berilsa, avariya axborotlarini qayta ishlash jarayoni, avariya holati indikatsiyasi signali (AHIS) yoki oldingi uchastkadagi rad etishni ko'rsatuvchi signal (ORKS) larni, shuningdek, boshqa manbalardan (masalan, boshqa TEOdan, sutka vaqti haqida, yuklama intensivligi haqida

va b.q.) beriladigan ma'lumotlar birlashtirilishi mumkin. Bu TE axborot signallarini yoki avariya signallarini berish kerakligini hal qilish uchun amalga oshiriladi.

AHIS TEOning ishga noqobiliyatligini bildiruvchi signal bo'lib, ishchi signallarni almashtirish maqsadida shikastlangan yo'nalishda uzatadi va rad etish oqibati hisoblangan. Tening boshqa avariya signallarini blokirovkalash kerakligini boshqa ishga qobiliyatli bo'lgan TEO ko'rsatadi.

AHIS qabul qilinganda, TEOdan xizmatning avariya signali (XAS)ni berish talab etilishi mumkin.



XAS AVARIYA BUZILISH OGOHLANTIRISH

13.2 - рас.м. ТЭО haqidagi TE axborotini qayta ishlash jarayoni

Xizmatning avariya signali — TEOdan berilib, xizmatni taqdim etish boshlanishi yoki tugatilishini anglatadi. Xizmatning ishchi parametri kattaligi talab qiymatlaridan pastga tushib ketganda XAS berilishi kerak. Bu qiymat AVARIYA signali berilgandagi qiymatga mos kelishi mumkin.

Rad etish haqidagi ma'lumot (13.1-rasmga qarang), rad etgan TEOni aniqlashda ishlatiladi. TE axborotlari joyida, yoki avariya signallarini yig'ish tizimi orqali distansion tarzda uzatilishi mumkin.

13.2. Texnik ekspluatatsiya va boshqarish tizimini tashkil etish

Texnik ekspluatatsiya tizimi (TET), dasturiy-texnik vositalar, texnik xodimlar va TEOga texnik xizmat ko'rsatish usullari va algoritmlari majmuasi sifatida, TEOni talab darajasida sifatli va samarador ishlashini ta'minlashi kerak.

TETda texnik xodimning vazifasi quyidagilardan iborat:

- TOA uzatish tizimi qurilmalarining uzluksiz va yuqori sifat bilan ishlashini ta'minlash;
- barcha turdagi ma'lumotlarni o'rnatilgan sifat bilan uzatish;
- TOAT apparaturalarini, uzatish liniyasini, kanal va traktlarini va ularga mos keluvchi servis qurilmalarini soz holatda, parametr va xarakteristikalarni normativ-texnik hujjatlar (NTH)da belgilangan talab va normalar doirasida ushlash;
- ekspluatatsiya jarayonining metrologik ta'minotini mukammallashtirish;
- uzatish liniyasi va traktlarni tashqi va o'zaro ta'sirlardan himoyalash bo'yicha tadbirlarni o'tkazish;
- TOAT va uzatish liniyasi qurilmalarida yuzaga keladigan buzilish, rad etish va avariylarni aniqlash va operativ bartaraf etish;
- belgilangan nizom, norma va instruksiyalarga mos holda TOA qurilmalari, kanal va traktlari pasportini tayyorlash bo'yicha ishlarni tashkil etish va o'tkazish;
- TEOning sifatini sonli baholash imkonini beruvchi ekspluatatsion xarakteristika va ko'rsatkichlarni aniqlash;
- TEning turli bosqichlarida o'tkaziladigan tadbirlarning mazmuni va hajmini asoslangan holda aniqlash;
- TEOga texnik va profilaktik xizmat ko'rsatishning yangi texnologik usullarini kiritish;
- TE sifati va samaradorligini pasaytiruvchi omillarni aniqlash. aloqa sifatini boshqarishning kompleks dasturini ishlab chiqish va tadbiq etish, mavjud va yaratilayotgan TEOning iqtisodiy ko'rsatkichlarini oshirish;
- TEOni ta'mirlash, profilaktik, texnik xizmat ko'rsatish bo'yicha ishlarni bajarishda texnika xavfsizligi qoidalariga qat'iy

rioya qilish, TEning iqtisodiy, ergonomik va ekologik masalalarini birgalikda tatbiq etish va uning natijalarini amaliyotga kiritish;

- TEning texnologik jarayonlarini avtomatlashtirish vositalari va usullarini ishlab chiqish;

- qurilmalarni sifatli ekspluatatsiya qilishni ta'minlovchi uskunalar, o'lchov asboblari, materiallar, asboblardan va inventarlarga buyurtmalarni o'z vaqtida taqdim etish;

- texnik ekspluatatsiya tarmog'ini ishlab chiqish va ko'rish;

- texnik hujjatlarni yuritish, kanal, trakt va qurilmalarning ish sifatini tahlil qilish va hisob-kitobini olib borish;

- kanal va trakt qurilmalariga operativ xizmat ko'rsatishni qabul qilish va usullarini texnik xodimlarga o'rgatishning ilmiy asoslangan metodlarini ishlab chiqish.

Operativ-texnik hujjatlarda ko'zda tutilgan, boshqarish bo'yicha ishlar majmuasi operativ-texnik boshqarish tizimi (OTBT)ni tashkil etadi.

OTBTning asosiy vazifalari quyidagilar hisoblanadi: TOAT ning kanal va traktlari bo'ylab ma'lumotlarni sifatli va uzluksiz uzatishni ta'minlash, birlamchi tarmoqning mos keluvchi uchastkasining holatini nazorat qilish va uzatish liniyalarining avariyasida topologiyani o'zgartirish bo'yicha qaror qabul qilish.

OTBT birlamchi tarmoqning tashkil etuvchisi sifatida, TOAT va uzatish liniyasi, tipli kanal va traktlar ishini ta'minlovchi, dasturiy-texnik vositalar va texnik xodimlar mujassamligi ko'rinishida tashkil etiladi.

OTBT ikkilamchi tarmoq va turli foydalanuvchilarning keng doirasi (kanal va trakt ijarachilari) bilan samarali o'zaro faoliyatni ta'minlaydi. Operativ texnik xizmat ko'rsatish TEning ikkilamchi tashkil etuvchisi hisoblanadi va o'zida TEning ishga qobiliyatligi va sozligini, ishonchlilik ko'rsatkichlari, kanal va trakt parametrlarini normativ texnik hujjatlarda belgilangan oraliqlarda ushlab turish va qayta tiklash bo'yicha ishlarni namoyon etadi.

TEning bu tashkil etuvchisining integrallik ishlashi texnik xizmat ko'rsatish (TXK) ko'rinishida tashkil etiladi. Operativ-texnik hujjatlarda ko'zda tutilgan, kanal va traktlar ishining sifat ko'rsatkichlarini ta'minlash maqsadida, berilgan ekspluatatsiya sharoitlari uchun TXK bo'yicha ishlarni tashkil etish va o'tkazishni aniqlovchi

nizom, me'yor, boshqaruvchi texnik materiallar va ko'rsatmalarning o'zaro bog'liq majmuasi operativ-texnik xizmat ko'rsatish (OTXK) tizimini tashkil etadi. Bu tizim turli ishlar va jarayonlarni o'tkazishni nazarda tutadi, ulardan asosiylari quyidagilar hisoblanadi:

- yordamchi jarayonlar — TXK bo'yicha ishlarni olib borish uchun ish joyi, asboblari va nazorat-o'lchov asboblari tayyorlash bo'yicha ishlar yig'indisi;

- texnik tekshirish — TEO parametr va xarakteristikalarining normativ texnik hujjatlarga mosligini tekshirishga yo'naltirilgan ishlar yig'indisi.

Holat bo'yicha TXK strategiyasi (XTXK), TXK bo'yicha ishlarining tartibi va davriyligi, shuningdek, TEO va uning elementlarini almashtirish, TEO ni har bir elementining texnik holatini nazorat natijalari bo'yicha belgilanishi bilan xarakterlanadi.

XTXK strategiyasi faqatgina rad etishning yuqori darajasida va TEO ning ishga yaroqliligini nazorat qilishda (rad etgunga qadar ishlashi) maqsadga muvofiq. Rad etish yuzaga kelgandan so'ng, uning keyingi ta'sirlari bo'lmasligi, XTXK strategiyasini qo'llashning eng zarur sharti hisoblanadi. Agar rad etish jiddiy oqibatli avariya olib kelsa, XTXK strategiyasini qo'llash mumkin emas. Sinxron raqamli iyerarxiya asosidagi TOA uzatish tizimlari bu shartlarning barchasiga to'liq holda javob beradi.

XTXK strategiyasi jarayonlari quyidagilar hisoblanadi:

- TEO texnik holatini uni funksional ishlatish joyida nazorat qilish;

- TXK bo'yicha ishlarning mazmuni va hajmini aniqlash (sozlash, ishlatish joyida sozlash; rad etish yoki rad etgunga qadar bo'lgan holat aniqlanganda TXK rejimiga o'tkazish; buzilgan joyni o'chirish va uni bartaraf etish maqsadida diagnostika qilish);

- qayta tiklanishdan so'ng TEO holatining NTXga mosligini nazorat qilish;

- ishlatishdan oldin montaj qilish va tekshirish.

Ikkala TXK strategiyalarini taqqosiy tahlil qilish, texnik ishlatish koeffitsiyentlarining qiymatlarini hisoblash va taqqoslash yo'li orqali amalga oshirilishi mumkin.

TEO ning quyidagi ko'rsatkichlari ma'lum:

T_0 — rad etgunga qadar ishlash;

T_{txk} — TXK davri;

V_{txk} — TXK vaqti;

τ_i — rad etish yuzaga kelganda qayta tiklash vaqti.

TEO ning rad etmasdan ishlash ehtimolligi eksponensial qonunga bo'ysunadi:

$$p(t) = \exp(-t/T_0). \quad (13.1)$$

U holda XTXK strategiyasida texnik ishlatish koeffitsiyenti

$$K_{\text{ti}} = \frac{T_0 [1 - \exp(-T_{\text{txk}}/T_0)]}{(T_0 + \tau_i) [1 - \exp(-T_{\text{txk}}/T_0) + \tau_{\text{txk}} (-T'_{\text{txk}}/T_0)]}. \quad (13.2)$$

XTXK strategiyasi uchun $\tau_n \leq \tau_{\text{txk}}$ nazorat vaqti davomida T_{txk} davriylikka ega parametrlarni nazorat qilishda texnik ishlatish koeffitsiyenti:

$$K_{\text{uz}} = \frac{T_0 [1 - \exp(-T_{\text{nj}}/T_0)]}{\tau_i [1 - \exp(-T_{\text{txk}}/T_0)] + T_{\text{txk}} + \tau_n}. \quad (13.3)$$

$\tau_n \leq \tau_{\text{txk}}$ shart bajarilganda (TOA tizimlari uchun, odatda, bajariladi):

$$T_{\text{txk}} < T_0, \quad K_{\text{uz}} > K_{\text{ti}}.$$

Turli strategiyalar bo'yicha TXKni tashkil etish masalasi ko'rsatadiki, XTXK strategiyasi boshqalariga nisbatan bir qator afzalliklarga ega: ish hajmining kamayishi, rad etishlar sonining kamayishi, asoslanmagan almashtirishlar sonining kamayishi hisobiga zaxira ehtiyot qismlari bilan ratsional ta'minlash va tejash.

SRI yoki PRI uzatish tizimlarining oxirgi avlodlari asosidagi TOAT va uzatish liniyalarining ekspluatatsiya amaliyotida XTXK strategiyasi asosiy hisoblanadi.

TEO qurilmalariga TXK bo'yicha tadbirlar davriyligi uning murakkabligi, TXK usullari va strategiyalarining turi bo'yicha aniqlanadi va quyidagi uch prinsipda belgilanadi:

1. *Kalendar prinsipi* — TXK bo'yicha tadbirlar, rad etgunga qadar ishlashga bog'liq bo'lmagan holda ma'lum bir vaqt (kun, hafta, oy, kvartal, yarim yil, yil) davomida belgilanadi. Bu prinsipda o'tkaziladigan tadbirlar *profilaktik texnik xizmat* ko'rsatish (PTXK) deyiladi va TXK ning profilaktik usuliga mos keladi.

2. *Vaqt printsiipi* — vaqtga bog‘liq bo‘lmagan holda TEO ni NTXda belgilangan vaqtgacha rad etmasdan ishlashiga erishilgandan so‘ng, TXK bo‘yicha ishlar amalga oshiriladi. Bu prinsipda o‘tkaziladigan TXK ishlari *reglamentli* deyiladi va, odatda, rad etish eskirishlar (lazer diodlari, ko‘chkili fotodiod, optik kuchaytirgichlar va boshqalar) sababli hosil bo‘ladigan TEO uchun qo‘llaniladi.

3. *Aralash prinsip* — ishlarning ma‘lum bir qismi belgilangan kalendar muddatlarda, qolgan qismi esa rad etguncha ishlashiga bog‘liq holda bajariladi. Bunday TXK ba‘zan *reglament-profilaktik ishlar* deyiladi.

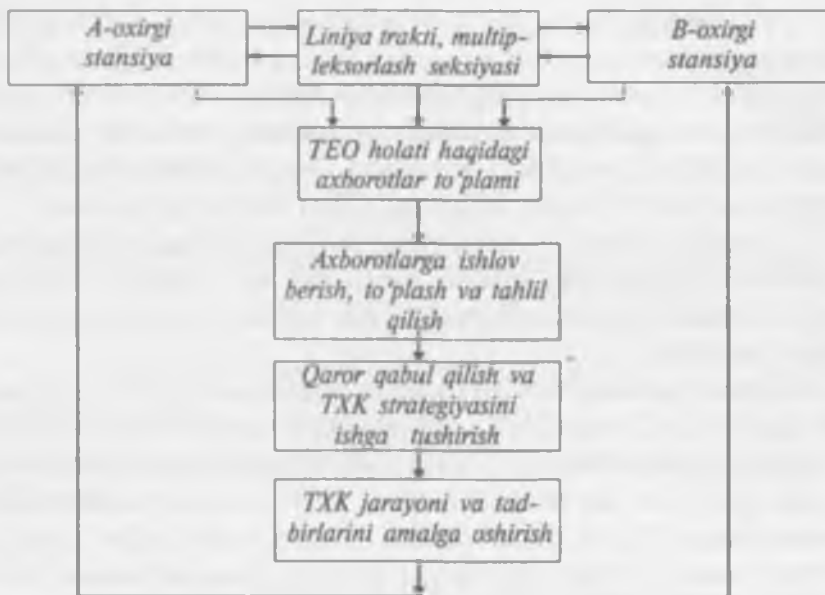
Nazorat qurilmalari bilan to‘liq ta‘minlanganligi bois, zamonaviy raqamli TOAT da TXKning *nazorat-to‘g‘rilash usuli* keng qo‘llaniladi. Bu usulda TEOning holati tizimli nazorat qilinadi va o‘rnatilgan sifat ko‘rsatkichlari va TEO ishining samaradorligi yomonlashgan holda *qayta-tiklash* — *to‘g‘rilash* ishlari bajariladi. Ba‘zan bunday TXK *to‘g‘rilovchi texnik xizmat ko‘rsatish* (TTXK) deyiladi. TTXK TEO ishga noqobiliyatligi aniqlangach bajariladi va TEOning sifat parametrlari o‘rnatilgan doiralarda bo‘ladigan holatga qayta tiklash uchun yo‘naltirilgan.

13.3-rasmda TTXKning umumiy sxemasi keltirilgan.

TOAT va tarmoqlarining rivojlanishi, qurilmalarining raqamlashtirilishi, ularning ekspluatatsiya amaliyotiga axborot texnologiyalarining kiritilishi *operativ-texnik boshqarish tizimi* (OTBT) va *operativ-texnik xizmat ko‘rsatish tizimi* (OTXKT)larini yagona *avtomatlashtirilgan texnik ekspluatatsiya tizimi* (ATET)ga birlashtirdi. So‘ng *avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimini* tashkil etilishiga olib keldi, u yagona majmua sifatida tarmoqni boshqarish va rivojlantirishning barcha masalalarini hal etadi, boshqa tarmoqlarning operatorlari bilan o‘zaro faoliyatda bo‘ladi va aloqa xizmatlarini taqdim etadi.

Umumiy foydalanish tarmoqlarida, bu tarmoqlarning mos keluvchi operatorlari tomonidan shaharlararo tarmoqlarning (ShT) va hududiy, regional tarmoqlarning (RT) TE tizimi tashkil etiladi. TE tadbirlarida ular bir biri bilan o‘zaro avtomatlashtirilgan bog‘liqlikda bo‘ladi.

TE jarayonida ShT va RTning TE tizimlari dasturiy-texnik majmua (DTM) bilan jihozlanadi. Boshqa tarmoqlarning TE



13.3-rasm. To'g'rilovchi texnik xizmat ko'rsatishning umumiy sxemasi

tizimlari bilan o'zaro bog'liqlikda bo'lish xizmat telefon aloqa kanallari va ma'lumotlarni uzatishning axborot tarmoqlarini qo'llash bilan amalga oshiriladi.

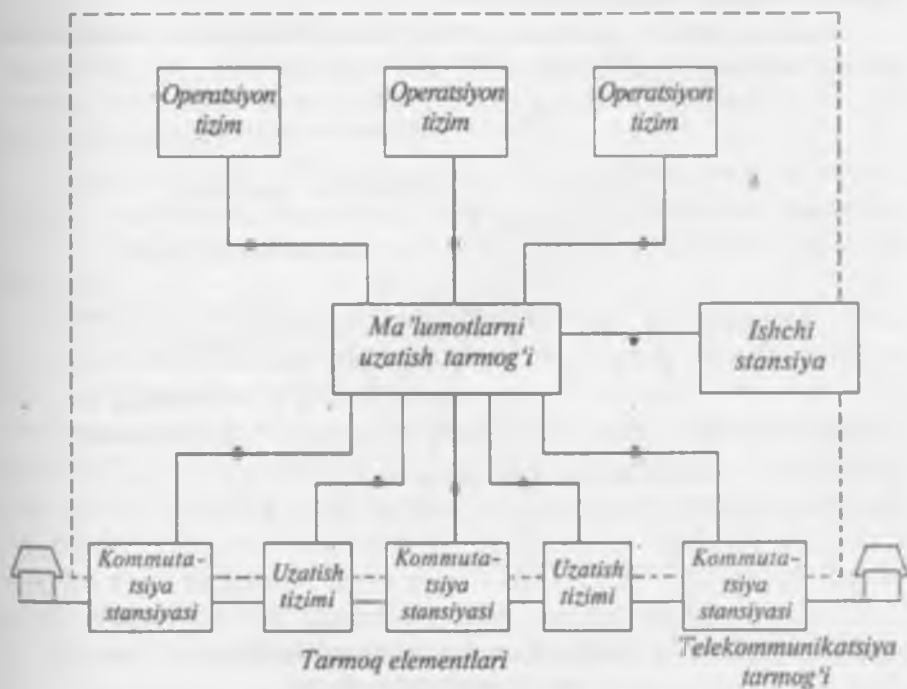
Aloqa operatorining birlamchi tarmog'ini boshqaruv tizimi birlamchi tarmoq holatining turli o'zgarishlarida, uning normal ishlashini, ikkilamchi tarmoq va boshqa foydalanuvchilar qiziqishlarida uning hamma imkoniyatlarini samarali ishlatish, uzatish kanali va traktlarini qayta tiklash vaqtini qisqartirish va texnik xodim mehnatining samaradorligini oshirishni ta'minlaydi.

Aloqani boshqarish tizimining asosi telekommunikatsiyalarni boshqarish tarmog'i – TBT (Telekommunikatsion Management Network – TMN) hisoblanadi. Bu maxsus tarmoq xalqaro elektraloqa ittifoqi (XEI) tomonidan standartlashtirilgan, yagona interfeys va protokollar asosida turli tarmoqlarning komponentlari bilan o'zaro aloqa tarmoqlari va ularning xizmatlarini boshqarishni ta'minlaydi.

Tarmoqni boshqarish (menejement) tarmoq administratori tomonidan tarmoqni ma'muriy boshqarish vazifasini bajarishdan

iborat, masalan, tarmoq konfiguratsiyasini shakllantirish, tarmoq resurslari bilan ishlash, tarmoqqa ulanish huquqlarini boshqarish va boshqa vazifalar.

13.4-rasmda TBT va aloqa tarmog'i o'rtasidagi o'zaro bog'liqlikning umumiy ko'rinishi keltirilgan. Boshqaruvchi axborotlarni qayta ishlash, saqlash va qidirish bo'yicha vazifalarni operatsion tizimlar bajaradi. Ishchi stansiyalar F turdagi birikish (kompyuter tarmog'ida ma'lumotlarni uzatishning fizik sathi) orqali birlamchi tarmoqning texnik xodimini boshqarish tarmog'i bilan o'zaro ta'sirlashuvini ta'minlaydi. Ishchi stansiyalar sifatida standart yoki maxsus kompyuter majmualari qo'llaniladi. Ma'lumotlarni uzatish tarmog'i Q turdagi birikish orqali tarmoq elementlari, operatsion tizimlar va TBTning boshqa komponentlari o'rtasida aloqani tashkil etish uchun mo'ljallangan (kompyuter tarmog'ida uzatishning yuqori va tarmoq sathlari). Vazifasi nuqtayi nazaridan, TBT mus-



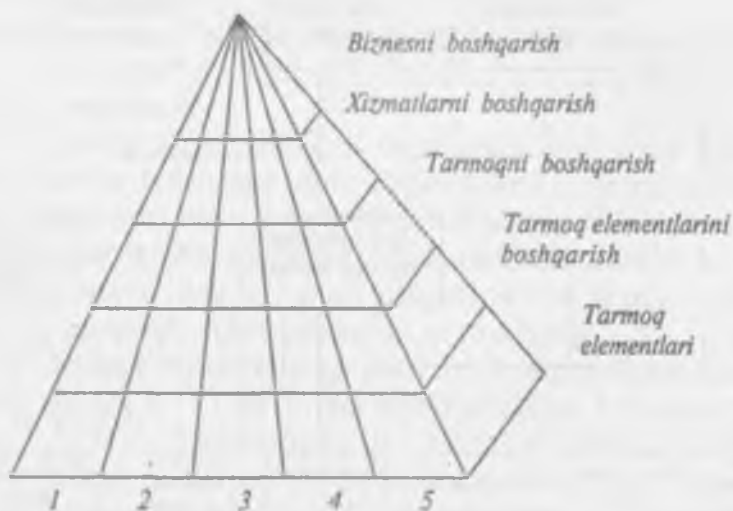
13.4-rasm. Telekommunikatsiyalarni boshqarish tarmog'i va aloqa tarmog'i o'rtasidagi o'zaro bog'liqlik

taqil ajratilgan tarmoq hisoblanadi, u boshqariladigan aloqa tarmog'i bilan axborotlarni olish va tarmoq ishini boshqarish uchun o'zaro munosabatda bo'ladi. Standart ulanishlar orqali boshqaruv axborotlarni almashinuvi uchun umumiy arxitekturani ta'minlash TBT tuzilishining asosiy prinsipi hisoblanadi.

TBT ko'p sathli logik arxitektura ko'rinishida, beshta boshqarish sathidan iborat (13.5-rasm).

Eng quyi sath — tarmoq elementlari sathi (Network Elements Layer) tarmoq obyektlari bo'ylab taqsimlangan komponentlar (kommutatsiya tugunlari, tarmoq stansiyalari va tarmoq tugunlari, multipleksorlar, operativ ulanish apparaturalari, regeneratsiyalash punktlari, optik kabellar, ularni ulagichlar) orqali hosil qilinadi. Bu yerda tarmoq elementining funksional imkoniyatlari, ularni ekspluatatsiya qilish, o'z-o'zini diagnostikalash va testlash, rad etishlardan oldingi holat va rad etishlar haqidagi nosozlik signallarini generatsiyalash amalga oshiriladi.

Ikkinchi sath — tarmoq elementlarini boshqarish sathi (Elements Management Layer — EML) tarmoq elementlari holatini



13.5-rasm. Tarmoqni boshqarish tizimi:

- 1 — konfiguratsiyani boshqarish;
- 2 — nosozliklarni bartaraf etishni boshqarish;
- 3 — uzatish sifatini boshqarish; 4 — hisob-kitoblarni boshqarish;
- 5 — axborotlarning himoyalashni boshqarish

nazorat qilish, ularning ish parametrlarini tasvirlash, texnik xizmat ko'rsatish, testlash va tarmoq elementlarining konfiguratsiyalash vazifalarini bajaradi. Tarmoq elementi (TEI)ni boshqarish, boshqarishning texnik ekspluatatsiya markazi (TEM) orqali aloqa tarmog'ining boshqarish markazi amalga oshiradi. TE_i boshqarish tizimi (Elements Management System) orqali amalga oshiradi, uning asosini element menedjer (EM) tashkil etadi:

- TE_i konfiguratsiyasi, u foydali yuklama kanallarini taqsimlash, ularning manzilini belgilash, eng sifatli sinxronizatsiya manbalarini belgilash va boshqalarni nazarda tutadi;

- TE_i monitoringi, ishga qobiliyatlilik darajasini aniqlaydi, signallarni yig'adi va ishlov beradi;

- uzatish funksiyasini boshqarish, ya'ni interfeyslar holatini baholash, zaxira qurilmalariga o'tishda zaxiralash tizimlarini aktivlashtirish;

- TEOning aniq qurilmasi uchun xarakterli bo'lgan testlar bo'yicha TE_i ni testlash;

- TE_i dan berilayotgan axborotlarga ishlov berish, servisni amalga oshirish maqsadida, ma'lum qatlam doirasida TE_i ni lokalizatsiyalash.

Belgilash joizki, EM nafaqat lokal tarmoqlarni, balki uzoqdagi tarmoq tugunlarini boshqarish uchun ham qo'llanilishi mumkin. Uni uzatish liniyasi trassasida ta'mirlash ishlarini bajarishda ishlatish mumkin.

EMni turli kompyuter platformalarida, shuningdek, turli operatsion tizimlarning boshqaruvi ostida shaxsiy kompyuterlarda ham amalga oshirish mumkin.

Uchinchi sath – tarmoqni boshqarish sathi (Network Management Layer – NML), turli tarmoq elementlari va ularning resurslarini umumiy moslashgan boshqaruvini amalga oshiradi. Boshqarish yagona markazdan tarmoqning boshqarish tizimi (Network Management System – NMS) orqali amalga oshiriladi, uning asosini tarmoq menedjeri (TM) tashkil etadi.

Tarmoq menedjeri quyidagi asosiy vazifalarni amalga oshiradi:

- monitoring – uzatish trakti, uzatish sifati va aloqa imkoniyatini tekshiradi;

- avariya signallariga ishlov berish;

– tarmoq va uning elementlarining ishchi xarakteristikalarini boshqarish;

– tarmoqning xizmat ko'rsatish dasturini boshqarish va uning elementlarini testlash;

– tarmoq xavfsizligini boshqarish (ruxsatsiz ulanishlardan himoyalash);

– tarmoq menedjeri servisini amalga oshirish va TE_i laridan beriladigan axborotlarga ishlov berish.

EM dan farqi TM yuqori quvvatli kompyuter platformalarida amalga oshiriladi.

TM ishining ikki rejimi mavjud: boshqaruv rejimi va monitoring rejimi. Boshqaruv rejimi barcha imkoniyatlarni to'liq ta'minlaydi. Monitoring rejimida esa tarmoq va uning elementlarining ishga qobiliyatlilik ko'rsatkichlari yig'iladi va baholanadi, qolgan imkoniyatlar man etiladi.

To'rtinchi sath — *xizmatlarni boshqarish sathi* (Service Management Layer — SML), foydalanuvchilar bilan o'zaro bog'lanish (munosabatda bo'lish) uchun mo'ljallangan, masalan, foydalanuvchilarga talab etiladigan xizmat turini belgilash, uning sifati, xizmat narxi va vaqtini aniqlash. Bu sath fizik obyektlarni boshqarish bilan bog'liq emas. Bu sathda boshqaruv servis-menedjer (SM) orqali amalga oshiriladi, u quyidagi funksiyalarni bajaradi:

– xizmatlarni taqdim etish imkoniyatining monitoringi;

– xizmat xarakteristikalarini boshqarish, shuningdek, uzatish traktlarini o'zgartirish uchun tarmoq boshqaruviga so'rovlarni shakllantirish.

– beshinchi sath — *biznes-boshqaruv sathi* (Busines Management Layer-BML), aloqa xususiyati (spetsifikatsiya)ga ega bo'lmagan korxonalar uchun.

Bu sathda korxona (tarmoq operatori) moliyalarining boshqaruvi, aksiya paketlarining boshqaruvi, bozor iqtisodiyoti, xodimlarining boshqaruvi va boshqa aloqa korxonalari operatorlari bilan faoliyatni amalga oshiradi.

Boshqaruv tizimi tarmoq boshqaruvchining barcha funksiyalarini qamraydi, u operator va uning faoliyatini qo'llab-quvvatlash, shuningdek, xavf yuzaga kelgan holatlarda tarmoqni boshqarishni ta'minlaydi (13.5-rasm).

Konfiguratsiyani boshqarish quyidagilardan iborat: boshqariluvchi tarmoqni rejaga kiritish, tuzish va rivojlantirish, yangi qurilmalarni o'rnatish va ekspluatatsiyaga kiritish, tarmoq elementlarini o'rnatish va ular o'rtasidagi bog'lanishlarni o'zgartirish, foydalanuvchilarga tarmoq resurslarini taqdim etish va boshqalar.

Nosozliklarni bartaraf etishni boshqarish — tarmoqdagi nosozliklarni aniqlash, qayd etish va bartaraf etishdan iborat.

Sifatni boshqarish — tarmoq va uning elementlarining ishi haqidagi statistik ma'lumotlarni to'plash, ishlov berish, qayd etish, saqlash va ko'rsatish, sifat ko'rsatkichlarini tahlil etish va boshqalardan iborat.

Hisob-kitobni boshqarish — taqdim etiladigan aloqa xizmatlarini to'plash va hisobga olish, ulardan foydalanganlikka to'langan to'lovlarni hisoblash, hisob to'lovlarini nazorat qilish va boshqalardan iborat.

Axborotlarning himoyalanganligini boshqarish — uzatilgan axborotlarning to'liqligi va himoyalanganligini ta'minlash, ruxsatsiz ulanishlarda xavf signallarini berish va boshqalardan iborat.

Har bir boshqaruv sathida boshqarish vazifalari ma'lum tashkiliy texnik tuzilmalar (masalan, korxona xizmatlari) orqali bajariladi.

TBT tarmog'ining funksional arxitekturasida telekommunikatsiya tizimlari, tarmoqlari va tarmoq xizmatlarining boshqaruviga taalluqli bo'lgan axborotlarni uzatish va ishlov berish uchun amalga oshiriladigan ish va vazifalarni turli bloklarga taqsimlanishini aks ettiradi.

TBTning informatsion arxitekturasida

TBTning informatsion arxitekturasida o'zida quyidagi asosiy tushunchalarni mujassam etgan:

Obyektlar — boshqariladigan kommutatsion stansiyalar, uzatish tizimlari va boshqalarni ta'riflash vositasi. Muayyan tarmoq elementi haqidagi informatsiya obyekti sifatida TBTning ma'lumotlar bazasida saqlanadi.

Bu arxitekturaning asosini amaliy boshqarish funksiyasi (ABF) — TBT elementini amaliy boshqarish jarayoni tashkil etadi. ABF agent (boshqariluvchi) va menedjerdan tashkil topgan. Har bir tarmoq elementi va operatsion tizim yoki O'MQ sig'a juda bo'l-maganda bir agent kirgan ABFsini qo'llab-quvvatlashi kerak.

Menedjer (M) — dasturli logika (boshqaruvchi dastur) yoki tarmoqni boshqarish funksiyasini bera oladigan (masalan: avariya haqidagi xabarlarini ajratishni, chegaraviy qiymatlarni o'rnatishni amalga oshirish) va avariya va ishchi xarakteristikalar haqidagi axborotlarni qabul qila oladigan, ABFning bir qismi. RUTning tarmoq elementlariga menedjer kirishi ham, kirmasligi ham mumkin.

Operatsion tizim yoki O'MQga juda bo'lmaganda bitta menedjer kiradi va u quyidagi ikki funksiyani bajarishi kerak:

1. Boshqaruvchi komanda generatsiyasi («o'rnatish», «ajratish», «rekonfiguratsiyalash», «taqiqlash»).

2. Boshqaruvchi komandaning bajarilishi haqidagi xabardor qiluvchi hujjatlarni qabul qilish va qayta ishlash.

Agent (A) — dasturiy mantiq (holatning monitoring dasturlari va resurs nazorati) ABFning bir qismini namoyon etadi, u menedjer tomonidan beriladigan, tarmoqni boshqarish operatsiyalariga chaqiriqni amalga oshirish imkoniyatiga ega va boshqariluvchi obyektlar nomidan xabarlarini berib, boshqariluvchi obyektlar bilan operatsiyalarni bajaradi. Bu mantiq quyidagi imkoniyatlarga ega:

1. Menedjerdan olingan komandalarning muvofiq obyekt imkoniyati/resurslariga ta'sir etish qobiliyati.

2. Boshqariluvchi obyekt holatini doimiy nazorat (monitoring) qilish.

3. Xabardor qilish.

4. Turli sathlarning boshqariluvchi obyektlari o'rtasida axborot almashinuviga yordam berish.

Agent va Menedjer o'rtasidagi barcha axborot almashinuvlari o'zaro munosabat protokoli vositasida ro'y beradi, u boshqaruvchi komandalar ketma-ketligi va almashinuv ko'rinishini aniqlaydi. Bu o'zaro munosabat protokoli CMIP (Common Management Information Protocol) deb ataladi.

Nazorat savollari

1. *Ekspluatatsiya so'zining ma'nosini tushuntiring.*
2. *Texnik ekspluatatsiya (TE) tizimini ta'riflang.*
3. *«Ekspluatatsiya nazariyasi» nimani o'rgatadi?*
4. *TE o'zida nimani namoyon etadi va TEdan maqsad nima?*
5. *Texnik xizmat ko'rsatish deganda nimani tushinasiz?*
6. *TE jarayoni qanday tashkil etiladi?*

7. *TE jarayoni qanday tadbirlarni o'zida namoyon etadi?*
8. *TEO deganda nimani tushinasiz?*
9. *Texnik xizmat ko'rsatish deganda nimani tushunasiz?*
10. *Texnik xizma ko'rsatish qanday tadbirlarni o'ziga birlashtiradi?*
11. *Texnik xizmat ko'rsatishning qanday usullarini bilasiz?*
12. *Texnik xizmat ko'rsatishni qanday optimallashtirish mumkin?*
13. *Tizim yoki elementlarni rad etish deganda nimani tushunasiz?*
14. *Nazorat qilish deganda nimani tushunasiz?*
15. *Eksploatatsion nazorat tushunchasini ta'riflang.*
16. *Nazorat qilishning qanday turlarini bilasiz?*
17. *Nazorat qilinuvchi obyektlar qaysi holatlar orqali baholanadi?*
18. *Norma, buzilish, avariya tushunchalarini ta'riflang.*
19. *TE tizimi qanday tashkil etiladi?*
20. *TEOning qanday ishonchlilik ko'rsatkichlarini bilasiz?*
21. *TEOning rad etmasdan ishlash ehtimolligi qaysi miqdoriy munosabatdan aniqlanadi?*
22. *Telekommunikatsiyalarni boshqarish tarmog'i (TBT)ning vazifasi nimadan iborat?*
23. *TBT qanday boshqarish sathlaridan tuzilgan?*

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Проектирование и техническая эксплуатация цифровых телекоммуникационных систем и сетей. Учебное пособие для вузов / Э. Б. Алексеев, В.Н. Гордиенко, В.В. Крухмалев и др.. Под редакций В.Н. Гордиенко и М.С. Тверского. —М.: Горячая линия — Телеком, 2008.
2. Проектирование и техническая эксплуатация систем передачи: Учебное пособие для вузов / И.Р. Берганов, В.Н. Гордиенко, В.В. Крухмалев. — М.: Радио и связь, 1989.

14-bob. OPTIK ALOQA TIZIMLARINING RIVOJLANISH TAMOYILLARI VA ISTIQBOLLARI

Darslik so'zboshisida ta'kidlanganidek, bugungi kunda jadal sur'at bilan rivojlanayotgan axborot almashinuvi jarayoni nafaqat muloqot vositasiga, shuningdek, jamiyat taraqqiyotining harakatlantiruvchi kuchlaridan biriga aylandi.

Shu munosabat bilan axborotlar oqimini uzatish hajmi, tezligi va sifatini oshirish, aloqa xizmatlari turlarini kengaytirish imkonini beruvchi, nisbatan kam mehnat va moddiy ashyolar talab qiluvchi aloqa tizimlari va tarmoqlarini yaratish va ulardan oqilona foydalanish usullarini ishlab chiqish, jumladan, aloqa tarmoqlari va xizmatlarining globallashuvi sharoitida global multimedia axborot infratuzilmasi konsepsiyasini ishlab chiqish va uni ro'yobga chiqarish dolzarb ahamiyat kasb etadi.

Jahon multimediali axborot infratuzilmasini yaratish bir tomondan terabit hajmli axborot oqimini uzoq masofalar — minglab kilometrlarga katta tezlikda retranslatsiyasiz uzatish, ikkinchi tomondan bu axborotlar oqimini ko'p sonli — millionlab abonentlarga samarali yetkazish, jumladan, mazkur infratuzilmaning interaktivligini ta'minlashni taqozo etadi.

Bu masalalarning optik aloqa tizimlari va tarmoqlari yordamida hal etish bugungi kunda ikki xil yondoshuv asosida amalga oshirilmoqda.

Ulardan birinchisi prinsip jihatidan yangicha yondoshuv — to'liqligicha foton texnologiyasiga asoslangan optik aloqa tizimlari va tarmoqlarini yaratish bilan, ikkinchisi esa mavjud optik aloqa tizimlari va tarmoqlarining funksional qurilmalari va elementlarini takomillashtirish, ularning xarakteristika va parametrlarini yangicha talablarga javob beradigan qilib yaxshilash yo'lidagi izlanishlar bilan bog'liq.

Biz quyida ana shu ikki xil yondoshuvni ro'yobga chiqarishga qaratilgan ayrim misollar haqida qisqacha to'xtalib o'tamiz.

14.1. To'liq foton texnologiyasiga asoslangan aloqa tizimlari va tarmoqlarini yaratishga qaratilgan ishlanmalar

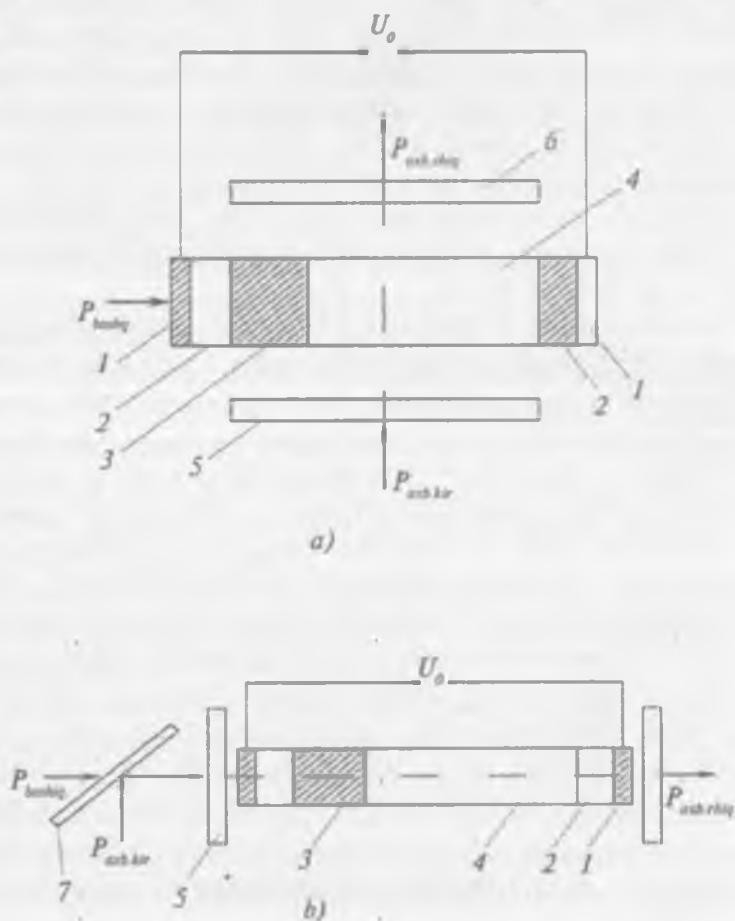
Optik aloqa tizimlari va tarmoqlarining to'liq foton texnologiyasiga asoslangan yondoshuvning mohiyati shundaki, bunday tizim va tarmoqlarda axborotni mujassamlashtiruvchi yorug'lik oqimlarining generatsiyasi va uzatilishi, ularga ishlov berish, ularni to'plash, saqlash hamda qabul qilish jarayonlari faqat fotonlar vositasida, ya'ni elektronlarning ishtirokisiz amalga oshiriladi. Bunda elektr jarayonlaridan faqat nurlanish manbalarini va boshqa yordamchi qurilmalarni o'zgarmas yoki o'zgaruvchan tok bilan ta'minlash maqsadlarida foydalaniladi. Buning uchun impulsli raqamli yorug'lik signallarini generatsiyalovchi qurilmalar, optik uzatish muhiti, optik modulyatorlar, optik kuchaytirgichlar, optik kommutatsiya qurilmalari, optik protsessorlar va to'plagichlar, optik selektiv (tanlash) xususiyatiga ega elementlar, fotoqabulqilgichlar, bir so'z bilan aytganda, optik signallar yordamida boshqariladigan asboblari va qurilmalar kerak.

Bu qurilmalarning ko'pchiligi allaqachon ishlab chiqilgan va zamonaviy TOAT larning asosini tashkil etadi. Optik tola va kabellar, optik kuchaytirgichlar, xromatik dispersiyaning optik kompensatorlari, optik multipleksor/demultipleksorlar shular jumlasidandir. Sanab o'tilgan bu qurilmalar hozirning o'zidayoq keng qo'llaniladi va elektronlarning ishtirokisiz ishlaydi. Ularning bir qismi — yarimo'tkazgichli optik kuchaytirgichlar, Bregg difraksion panjralari asosidagi xromatik dispersiya kompensatorlari, filtrlar, fotoqabulqilgichlar va nurlanish manbalari integral optikaning asosini tashkil etadi. Foton texnologiyasi asosidagi zaruriy elementlarning boshqa bir qismi — optik protsessorlarni yaratish uchun zarur bo'lgan optik kommutatorlar, qulflar (zatvorlar), optik bistabil qurilmalarni yaratish bo'yicha ishlar hozircha laboratoriya ishlanmalari ularni takomillashtirish bosqichida olib borilmoqda.

14.1.1. Optik qulf (zatvor)lar

Optik qulflar va almashlab ulagichlar foton lokal tarmoqlarida, marshrutlovchi qurilmalar va tarmoqlar arxitekturasini boshqarish

tugunlarida, hozirgi vaqtda yaratilayotgan multimediali ATS larida qo'llanish topadi. Yorug'lik bilan boshqariladigan qulflar metall – dielektrik yarimo'tkazgich tuzilishli tunnel (MDYT deb nom olgan) tuzilmalar asosida tayyorlanadi. Bu tuzilmalarda elektrooptik va yarimo'tkazgichli komponentlardan tarkib topgan qatlam sirtiga surtilgan metallardan elektrodlar sifatida foydalaniladi. Qulflarning ikki xili ishlab chiqilgan. Ularning birinchi xilida boshqaruvchi va modulyatsiyalanuvchi yorug'lik oqimlari o'zaro perpendikulyar, ikkinchi xilida esa o'zaro parallel yo'nalgan [1].



14.1-b rasm. Perpendikular turdagi (a) parallel turdagi (b) yorug'lik bilan boshqariladigan qulfnng sxemasi

14.1-a rasmda yorug'lik vositasida perpendikulyar tarzda boshqariladigan qulf (transparant)ning tuzilish sxemasi keltirilgan.

Unda 1 — metall elektrodlarni, 2 — yupqa tunnel dielektrik qatlamlarni, 3 — yarimo'tkazgichli qatlamni, 4 — elektrooptik sohani, 5 — qutblagichni, 6 — tahlillagichni tasvirlaydi.

1 — elektrodlarga o'zgarmas siljitish kuchlanishi U_0 qo'yiladi. Optik axborot signali quvvatini $P_{axb.}$, boshqaruvchi optik oqim quvvatini $P_{boshq.}$ orqali belgilaylik.

$P_{axb.} = 0$ va $P_{boshq.} = 0$ holida MDYT tuzilmasida muayyan yo'nalishli boshlang'ich elektr maydoni hosil bo'ladi. Agar bunda qutblagich (5) kirishiga $P_{axb.kir.}$ quvvatli axborot oqimi yo'naltirilsa, MDYT tuzilmasi orqali o'tgan bu oqimning qutblanish tekisligi muayyan θ_1 burchakka buriladi. Bu oqimning tahlillagich orqali o'tishidan keyin uning chiqishida muayyan quvvatli axborot oqimi qayd etiladi. Bunda tahlillagich chiqish axborot oqimi quvvatining eng katta qiymati $P_{axb.max}$ ga erishiladigan qilib yo'naltiriladi. Agar qurilma kirishiga, ya'ni uning shaffof qatlamli elektrodi (1) ga $P_{boshq.}$ quvvatli boshqaruvchi yorug'lik oqimi yo'naltirilsa, bu oqim yarimo'tkazgichli qatlam (3)ga tushib, unda elektron-kovak juftlarini hosil qiladi. Natijada elektrodlar (1) orasida elektr toki vujudga keladi. Bu hol elektr maydoni taqsimotining va shu tariqa axborot signali qutblanish tekisligining o'zgarishi va oxir-oqibat axborot oqimi chiqish quvvatining kamayishiga olib keladi. Boshqaruvchi yorug'lik oqimi quvvati $P_{boshq.}$ ning muayyan bir qiymatida chiqishdagi axborot signalining quvvati $P_{axb.chiq} = 0$ ga teng bo'lib qoladi.

14.1-b rasmda yorug'lik vositasida boshqariladigan transparantning modulyatsiyalanuvchi va boshqaruvchi optik oqimlar o'zaro parallel joylashgan xiliga tegishli sxema keltirilgan. Unda yuqorida sanab o'tilgan komponentlar qatoriga MDYT tuzilmasining old tomoniga joylashtirilgan yarimshaffof ko'zgu (7) qo'shilgan. Ko'zguning tekisligi tuzilma o'qiga $45^\circ C$ burchakka og'dirilgan. Ko'zguning tashqi tomoniga boshqaruvchi signal, uning ichki tomoniga axborot signali yo'naltiriladi.

Bu xil qulfning afzalligi shundaki, uni boshqarish uchun nisbatan kichik quvvatli boshqaruvchi signal talab etiladi.

Yorug'lik oqimi vositasida boshqariladigan transparantlarning boshqaruvchi optik signal quvvati va siljitish kuchlanishi U_0 ning

qiymatlarini kamaytirishga qaratilgan boshqa xil nusxalari ham mavjud. Ishlab chiqilgan yorug'lik bilan boshqariladigan transparentlar uchun quyidagi ko'rsatkichlarga erishilgan: diametri 30 mm li ikki o'lchamli yorug'lik bilan boshqariladigan transparentlar uchun boshqaruvchi qurilmaning solishtirma energiyasi $\sim 10^{-8}$ Joul/sm², modulyatsiyalanadigan yorug'lik signalining bir bitiga to'g'ri kelgan energiya $\sim 10^{-12}$ Joul.

Ikki o'lchamli yorug'lik bilan boshqariladigan transparentlarning signallarga ishlov berish tezligi V , S maydonga va d diametriga ega bo'lgan aylana ko'rinishidagi transparent uchun kanallarining yig'indi soni M va almashlab ulash vaqti τ_0 kabi kattaliklarning qiymati bilan belgilanadi:

$$V = \frac{M}{\tau_0} = \frac{\pi d^2}{4a_1^2 \tau_0}, \quad (14.1)$$

bunda a^2 — kvadrat ko'rinishidagi birlik kvadrat kanalning sirt yuzasi.

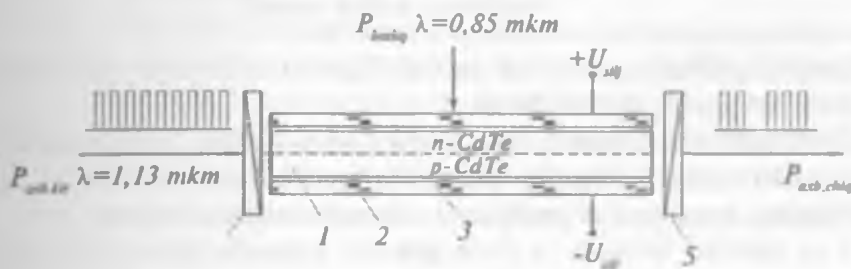
(14.1) miqdoriy munosabatdan ko'rinadiki, almashlab ulash vaqti $\tau_0 = 10^{-5}$ s va $d = 30$ mm hol uchun transparentning unumdorligi 50 mkm va 10 mkm diametrli birlik kanallar uchun mos ravishda $3 \cdot 10^{11}$ bit/s va $7 \cdot 10^{11}$ bit/s ga teng.

Tadqiqotlar [1] CdTe asosidagi elektrooptik tuzilmalardan foydalangan holda birmuncha yaxshi natijalarga erishish mumkinligini ko'rsatdi. Boshqaruvchi signalning < 30 mW li quvvatida impulsning old fronti davomiyligi uchun ~ 2 mks, orqa fronti davomiyligi uchun esa ~ 5 mks natija olindi.

Boshqaruvchi signal quvvatining minimalligi nuqtayi nazaridan qutblanuvchi optik almashlab ulagichlardan foydalangan holda yaxshi natijalarga erishildi.

Qutblanuvchi almashlab ulagich quyidagi xossalarga ega: boshqaruvchi yorug'lik oqimi mavjud bo'lmagan holda chiziqli qutblangan boshlang'ich optik axborot signali qutblovchi kommutator orqali qutblanish holatini o'zgartirmagan holda o'tadi. Boshqaruvchi yorug'lik oqimi mavjud bo'lgan holda esa chiqish axborot signalining qutblanish tekisligi 90° ga buriladi. 14.2-rasmda qutblanuvchi kommutatordan foydalanishga asoslangan yorug'lik

bilan boshqariladigan transparentning tuzilish sxemasi keltirilgan. Unda 1 — CdTe asosidagi yarimo'tkazgichli P va n sohalaridan tarkib topgan optik jihatdan shaffof kristallni, 2 — tunnel shaffof dielektrik qatlamni, 3 — juda yupqa metall qatlamini purkab hosil qilingan elektrodlarni, 4 — qutblagichni, 5 — tahlillagichni tasvirlaydi. Bu turdagi optik qulf uchun quyidagi natijalarga erishilgan: almashlab ulash vaqtining old fronti davomiyligi ~ 6 mks, orqa frontining davomiyligi 9 mks, boshqaruvchi signalning bo'sag'a quvvati $P_{\text{boshk. bo's.}} = 0,62$ mW, siljitish kuchlanishi — 360 V.



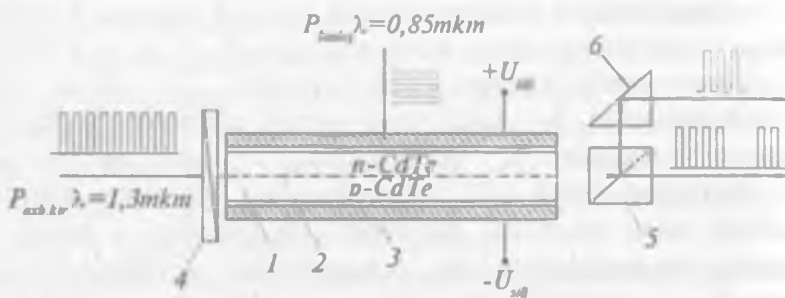
14.2-rasm. Qutblanuvchi kommutatordan foydalanishga asoslangan yorug'lik bilan boshqariluvchi qulfning sxematik tuzilishi [1]

14.1.2. Yorug'lik bilan boshqariluvchi almashlab ulagichlar

14.3-rasmda yorug'lik oqimini yorug'lik bilan boshqariladigan fazoviy almashlab ulagichning tuzilish sxemasi keltirilgan [1].

Unda 1-CdTe asosidagi yarimo'tkazgichli shaffof kristallni, 2 — tunnel dielektrik qatlamni, 3 — elektrodlarni, 4 — qutblagichni, 5 — o'zaro perpendikulyar yo'nalishda qutblangan yorug'lik oqimlarini fazoviy jihatdan ajratish vazifasini bajaradigan Rishon, Nikol va boshqa turdagi prizmani, 6 — aks ettiruvchi prizmani tasvirlaydi.

Qutblagich (4) va tahlillagich (analizator) orasiga joylashgan tuzilma qutblanuvchi kommutator vazifasini o'taydi. Axborotni mujassamlovchi optik oqim $P_{\text{axb.}}$ qutblagich orqali qutblanuvchi kommutatorning kirish qirrasiga yo'naltiriladi. Agar kommutator elektrodlariga U_{silj} siljish kuchlanishi berilib, boshqaruvchi yorug'lik oqimi mavjud bo'lmasa, axborot oqimi qutblanuvchi kommutator orqali o'zgarishsiz o'tadi. Bu holda qutblanuvchi



14.3-rasm. Yorug'lik bilan boshqariladigan fazoviy almashlab ulagichning tuzilish sxemasi

elementni axborot yorug'lik oqimi P_{axb} ni maksimal darajada o'tkazadigan qilib yo'naltiriladi.

Boshqaruvchi kirishga P_{boshq} optik signal berilsa, qutblanuvchi kommutatorning qutblanish tekisligi 90° ga buriladi va u bu holda tahlillagich vazifasini o'taydigan 3-element orqali o'tmaydi.

U_{silj} mavjud bo'lgan va boshqaruvchi oqim bo'lmagan holda, axborot oqimi qutblagich (4) orqali o'tib, yassi qutblanib qoladi. Bunda, agar kirish signalining qutblanganlik holati 4-element qutblanishi bilan mos kelsa, u to'laigicha qutblanuvchi kommutatorga o'tadi.

Agar P_{axb} va qutblanuvchi kommutatorlarning qutblanish tekisliklari mos kelmasa, P_{axb} ning bir qismi yo'koladi. Agar P_{axb} qutblanmagan bo'lsa, uning energiyasi 2 barobar kamayadi. Yuqorida ko'rsatilgan sharoitda ($U_{silj} = U_0$ va $P_{boshq} = 0$) yassi qutblangan yorug'lik nurlanishi qutblanuvchi kommutatorlar orqali qutblanish holati o'zgarmagan holda o'tadi va qutblanish holati bo'yicha ajratkich vazifasini bajaruvchi prizma ga tushadi va uning chiqishlaridan biriga o'tadi.

Boshqarish signali P_{boshq} tushganida qutblovchi kommutator axborot oqimining qutblanish tekisligi 90° ga buriladi va bu oqim qutblovchi-ajratuvchi prizma (5) ga tushib, uning ikkinchi chiqishiga o'tadi va 2-nur trayektoriyasini kerakli yo'nalishda o'zgartirib beruvchi aks ettiruvchi prizma (6) ga tushadi.

Shuni ta'kidlash joizki, qutblovchi kommutatordan foydalinishga asoslangan optik qulfdagi kabi ko'rib o'tilgan kommutator uchun kirish axborot oqimi energiyasining yarmi isrof bo'ladi.

Real qurilmalarda yo'qotishlarni kamaytirish uchun qutblanmagan kirish yorug'lik oqimi avval 14.3-rasmda keltirilgan (5) prizмага o'xshash qutblovchi — ajratuvchi prizмага tushadi, shundan so'ng hosil bo'lgan o'zaro perpendikulyar yo'nalishda qutblangan oqimlarning har biri tegishli qutblovchi kommutatorga yo'naltiriladi.

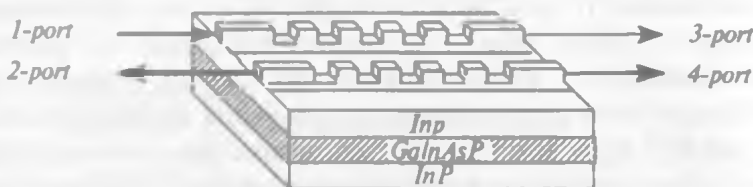
O'z-o'zidan ayonki, bu holda mazkur prizma 4-element bajar-gan vazifani o'taydi va chiqish signallari ham o'zaro perpendikulyar yo'nalishga ega bo'ladi. Shu sababdan ular chiqishida qutblanmagan signallar hosil bo'ladigan tegishli qutblovchi-birlashtiruvchi priz-malarga yo'naltiradi.

Yorug'lik bilan boshqariluvchi qutblanuvchi kommutatorlarning tajribaviy namunalari uchun quyidagi natijalarga erishilgan: almash-lab ulash vaqti: 0,1 sath bo'yicha front davomiyligi — og'dirilmagan nur kanalidagi old front uchun 12 mks, orqa front uchun 10 mks, og'dirilgan nur kanalidagi old front uchun 12 mks, orqa front uchun esa 15 mks, boshqarish signalining bo'sag'aviy quvvati 2,3 mW, siljitish kuchlanishi — 400 V.

Bu yo'nalishda erishilgan yutuqlarga namuna sifatida [2] ishda tavsif berilgan yorug'lik bilan boshqariluvchi kommutatorni keltirish mumkin. Mazkur kommutator yuza sirtining bir qismiga Bregg difraksiya panjarasi surtilgan GaInAs/InP li nochiziqli yarim-o'tkazgichli tuzilma ko'rinishida tayyorlangan yo'nalgan tarmoq-lagichdan foydalanishga asoslangan. 14.4-rasmda bu kommuta-torning tuzilish sxemasi keltirilgan.

To'g'ri burchakli shaklga ega bu tuzilma uchta qatlamdan — InP dan tayyorlangan qalinligi 100 nm ga teng quyi qatlamdan, qalinligi 450 nm li GaInAsP qatlamidan va InP dan tayyorlangan, qalinligi 399 nm ga teng yuqori qatlamdan tarkib topadi. To'lqin uzatkichli tuzilmaning yuqori sirtiga X-tusidagi yo'nalgan tarmoq-lagich hosil qiluvchi to'lqin uzatuvchi kanallar o'tkazilgan. Uning o'rta qismida davri 232,5 nm li Bregg difraksiya panjarasi hosil qilingan.

Tuzilmaning to'liq uzunligi 5 mm, to'lqin uzatkichli qismining uzunligi — 3 mm, to'lqin uzatkich hosil qiluvchi do'ngliklarning kengligi — 1,5 mkm. Quvvati 5 mV dan kamroq 1550 nm to'lqin uzunlikli yorug'lik signali 1-portga tushganida, u Bregg aks ettiruvchisidan qaytib, 2-portga boradi. Yorug'lik signalining quvvati



14.4-rasm. Yorug'lik bilan boshqariluvchi almashlab ulagichning tuzilish sxemasi

12 mW dan katta bo'lgan holda, yarimo'tkazgichli tuzilmadagi nohiziqli effekt tufayli muhitning sindirish ko'rsatkichi va buning natijasida Bregg difraksiya panjarasining davri o'zgaradi. Bunda nurlanish 4-portga o'tadi.

Mazkur tuzilma simmetrik tuzilishga ega. Shu sababdan, agar boshlang'ich signal 2-port kirishiga tushsa, almashlab ulangan signal 3-portdan chiqadi.

Yuqorida bayon qilingan tavsifidan ko'rinadiki, mazkur tuzilma bistabillik xususiyatiga ega. Ushbu kommutator quyidagi ko'rsatgichlarga ega: 2-port chiqishdagi impuls old frontining davomiyligi 6...8 ns, orqa frontining davomiyligi 4...5 ns, 4-portning chiqishida bu kattaliklarning qiymatlari mos ravishda 15...20 ns va 10 ns dan kichik. Kommutator kirish quvvatining 12 mW qiymatidan boshlab ishlay boshlaydi va 1,5 mW kirish quvvatida o'zining boshlang'ich holatiga qaytadi.

14.1.3. Yorug'lik bilan boshqariladigan bistabil optik qurilmalar

Optik protsessorlar, axborot to'plagichlari, xotira va axborotga ishlov berish qurilmalarini yaratish uchun optik bistabil qurilmalarni – EHM elektron protsessorlarining asosini tashkil etuvchi elektron bistabil qurilmalarning analoglarini ishlab chiqarish talab etiladi. [3] ishda bistabil optik qurilmalarni yaratishda erishilgan so'nggi natijalar bayon etilgan. Qurilma to'liq yorug'lik bilan boshqariladigan hisoblagich bo'lib, u 4 ta yorug'lik bilan boshqariladigan almashlab ulagichdan va 6 ta kechiktirish liniyalaridan iborat. Uni boshqarish optik kuchaytirgich chiqishidan optik tarmoqlagich orqali

hisoblagichning ikki kirishiga tushadigan yorug'lik impulslari yordamida amalga oshiriladi. Boshqaruvchi yorug'lik impulslarining spektral diapazoni to'liq uzunligining 1552 va 1534 nm li sohasida yotadi. Almashlab ulash vaqti 150 ns ni tashkil etadi.

14.1.4. Raqamli yorug'lik oqimlarini elektronikadan foydalanmagan holda shakllantiruvchi qurilmalar

Zamonaviy raqamli uzatish tizimlarida qisqa optik impulslar optik muhit — optik tola bo'yicha uzatish tezligi va tizimda qabul qilingan liniyaviy kodlar bilan belgilanadigan chastota va ketma-ketlikda tarqaladi. Bu impulslar yarimo'tkazichli lazer diodlarining damlash tokini to'g'ridan-to'g'ri (bevosita) modulyatsiyalash yo'li bilan yoki elektr kuchlanishi ta'sirida boshqariladigan tashqi modulyatsiyalovchi qurilmalar — optik modulyatorlar yordamida shakllantiriladi. Yorug'lik impulslarini bunday shakllantirish usullari bo'yicha erishilgan natijalar elektron tizimlar uchun mumkin bo'lgan chegaralarga yaqin.

Bundan tashqari, elektr signallari ko'rinishidagi axborot oqimini yorug'lik signallari ko'rinishidagi axborot oqimiga o'zgartirish aloqa tizimining samaradorligini pasaytiradi. Shu sababdan yuqorida ko'rib chiqilgan fotonli elementlarga berilgan davomiylikka va kelish tartibiga ega bo'lgan optik impulslar ketma-ketligini to'g'ridan-to'g'ri yorug'lik vositasida shakllantirish vazifasini bajaruvchi qurilmalarni qo'shish kerak.

Bu masala yuqorida ko'rib chiqilgan optik modulyatorlar va yorug'lik bilan boshqariladigan optik qulflarni qo'llash yo'li bilan hal etiladi.

Optik impulslar ketma-ketligini shakllantirishning bir usuli [4] ishda taklif etilgan. 14.5-rasmda ushbu shakllantirgichning sxemasi keltirilgan, unda 1 — modulyatsiyalanmagan uzluksiz yorug'lik oqimi manbayini, 2 — yorug'lik yordamida boshqariladigan optik almashlab ulagichni, 3 — tolali Y-tusli optik tarmoqlagichni, 4 — kechiktiruvchi optik liniyani ifodalaydi.

Optik impulslar ketma-ketligini shakllantirgichning ish prinsipi quyidagicha. Faraz qilaylik, boshlang'ich holatda nurlanish C chiqishga o'tayotgan bo'lsin. Bu chiqishda nurlanish quvvati $P_c =$



14.5-rasm. Optik impulslar ketma-ketligini elektronikaning ishtirokisiz shakllantiruvchi qurilmaning sxematik tuzilishi.

$0,5P_1$ ga teng, bunda P_1 — almashlab ulagich chiqishidagi quvvat (uning uzatish koeffitsiyentini hisobga olgan holda). Agar $P_{kir} \geq P_{boshq.}$ bo'lsa, almashlab ulagich (2) ishga tushadi va signalni B chiqishga t_n vaqt davomida uzatadi. Bunda $t_n = \tau_s + \tau_{kech}$ vaqtdan so'ng boshqaruvchi kirishga boshqaruvchi signalning kelishi to'xtaydi (bunda τ_s — almashlab ulagichning ishga tushish vaqti, τ_{kech} — 4-elementdagi kechikish vaqti. t_p vaqt o'tganidan so'ng almashib ulagich o'zining boshlang'ich holatiga qaytadi.

Shundan t_n vaqt o'tganidan so'ng boshqaruvchi signal yana boshqaruvchi kirishga tushadi va sikl qaytalanadi.

14.1.5. Yorug'lik bilan boshqariladigan tolali lazerlar

Aktiv tolali yorug'lik uzatkichi asosidagi tolali lazerning tuzilishi 14.6-rasmda keltirilgan. U tolali chiqishga ega, odatda, katta quvvatli lazerdan iborat damlash tugunidan, o'zagining diametri $d_o = 10 \dots 30$ mm ga teng aktiv bir modali yorug'lik uzatkichidan, lazer rezonatorlari vazifasini o'tovchi tola tarkibida hosil qilingan sindirish ko'rsatkichi panjarasidan tarkib topadi [5].

Butunlay tolali tuzilishga ega bo'lganligi tufayli bunday lazerlar past yo'qotishlarga ega bo'ladi. Aktiv tolali yorug'lik uzatkichning uzunligi, odatda, $5 \dots 50$ m ni tashkil etadi.

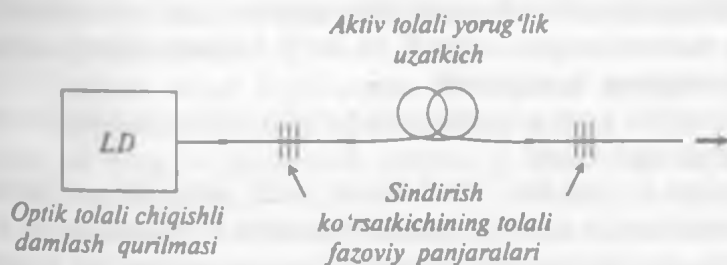
Lazerning chap tamonidagi kirish bregg panjarasi generatsiya to'lqin uzunligida 100 foizga yaqin, uning o'ng tomonidagi chiqish panjarasi esa, unga qaraganda ancha kam (taxminan 5 foiz) aks ettirish koeffitsiyentiga ega va bu miqdor kuchaytirish darajasi va aktiv yorug'lik uzatkichidagi optik yo'qotishlarning kattaligi bilan aniqlanadi. Bregg panjarasi bevosita aktiv yorug'lik uzatkichining o'zida yoki yorug'lik uzatkichining aktiv sohasiga payvandlanadigan yorug'likka sezgir bo'lagida hosil qilinishi mumkin.

Tolali lazerning sindirish ko'rsatkichi panjarasini tayyorlash fotoo'tkazuvchanlik hodisasidan foydalanishga asoslangan. Bu hodisaning mohiyati shundaki, yorug'lik uzatkichi o'zagining sindirish ko'rsatkichi muayyan to'lqin uzunlikli ultrabinafsha nurlanish ta'sirida o'zgaradi. Odatda, sindirish ko'rsatkichining tolali bregg panjaralari tolali yorug'lik uzatkichi sindirish ko'rsatkichining o'zgarish davri ushbu tola bo'yicha tarqalayotgan nurlanish to'lqin uzunligining taxminan yarmiga teng bo'lgan bo'lagi sifatida tayyorlanadi.

Bunda tolali yorug'lik uzatkichlarini legirlovchi aktiv elementlar sifatida lantanoid yoki noyob yer elementlari ionlaridan foydalaniladi. O'rta va katta quvvatli samarali tolali lazerlarni yaratish uchun iterbiy ionlari bilan legirlangan aktiv tola alohida ahamiyat kasb etadi.

Iterbiyli Yb^{3+} lazer energetik sathlarining sxemasida asosiy sath $F_{7/2}$ dan tashqari yagona qo'zg'algan sath $F_{5/2}$ mavjud. Ultrabinafsha diapazonigacha boshqa energetik sathlarning yo'qligi shundan dalolat beradiki, ushbu tizimda to'lqin uzunliklarining generatsiya to'lqin uzunligi yaqinida qo'zg'algan holatda yorug'likning yutilish jarayoni ro'y bermaydi. Bu hol lazer f.i.k. ining katta qiymatlarini ta'minlaydi va aktiv aralashmalar konsentratsiyasini keng tarqalgan neodim va erbiyli legirlovchi aralashmalar konsentratsiyasiga nisbatan muhim tarzda oshirish imkonini beradi.

Katta konsentratsiyali aktiv aralashmali yorug'lik uzatkichlaridan foydalanish lazer aktiv muhitining uzunligini kamaytirish, demak, turli xil nochiziqli effektlar va qo'shimcha optik yo'qotishlarning lazer samaradorligiga ta'sirini kamaytirish imkonini beradi.



14.6-rasm. Tolali lazerning tuzilishi

Tolali optik lazerlar an'anaviy lazerlarga nisbatan quyidagi afzalliklarga ega:

- yuqori darajadagi barqarorlik va ishonchlilik;
- chiqish nurlanishining yuqori sifatga ega ekanligi;
- samarali issiqlik uzatilishining ta'minlanishi;
- kichik o'lchamliligi va kichik massaga ega ekanligi.

14.1.6. Majburiy kombinatsion sochilishga asoslangan tolali lazerlar

Bu turdagi (VKR) yorug'likning tolali yorug'lik uzatkichdagi majburiy kombinatsion sochilish hodisasidan foydalangan holda damlovchi lazer nurlanishini pastroq chastotali nurlanishga samarali o'zgartirib berishga imkon beradi. Shunday qilib, chastotalarning keng diapazonida ishlatiladigan turli xil to'lqin diapazonidagi lazerlar yaratiladi.

Zamonaviy yorug'lik uzatkichlar VKR lazerlarni ro'yobga chiqarish imkonini beradigan noyob muhit vazifasini o'taydi. Kam miqdordagi yo'qotishlar yorug'lik uzatkichlarining katta uzunliklaridan foydalanish imkonini beradi. Turli xil shisha (kvars)lardan foydalanish stoks nurlanish chastota siljishini tanlash imkonini beradi.

Birinchi VKR lazerlar ham tolali, ham hajmiy elementlardan iborat gibril tuzilishga ega bo'lgan. Mazkur elementlarni muvofiqlashtirish, lazerlarni yustirofkalash zarurati bu turdagi qurilma bilan ishlashni qiyinlashtirish bilan birga uning samaradorligini pasaytirib, qo'llanish sohasini cheklaydi.

Teskari bog'lanish hosil qilish uchun bregg panjaralaridan foydalanish VKR — lazerlarining tuzilishini muhim tarzda soddalashtirib, ularning samaradorligini oshirdi va ko'p kaskadli lazerli o'zgartkichlar yaratishni ta'minlaydi.

To'liq tarzda tolali tuzilishga ega bo'lgan VKR-lazerning sxemasi 14.7-rasmda keltirilgan.

Rasmdan ko'rinadiki, VKR-lazeri tolali yorug'lik uzatkichdan va rezonans to'lqin uzunligi yorug'lik uzatkichi materialidagi stoks siljishlariga mos kelgan bregg panjaralari majmuasidan tarkib topadi. Bunda oraliq to'lqin uzunliklariga tegishli bregg panjaralari 100

Germaniy silikatli yorug'lik uzatkich

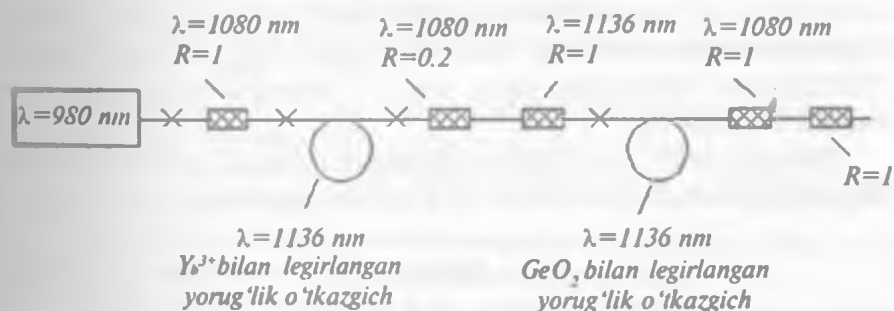


14.7-rasm. VKR lazerning tuzilish sxemasi [6]

foiz aks ettirish ko'effitsiyentiga ega. Germaniy silikatli yorug'lik uzatkichidan foydalanilganda 1,48 mkm li to'liq uzunligiga ega nurlanish olish uchun 5 kaskadli o'zgartirishlar talab etiladi.

Agar VKR lazerning aktiv muhiti sifatida fosfor oksidi bilan oksidlangan o'zakli yorug'lik uzatkichidan foydalanilsa, uning tuzilishini soddalashtirish mumkin. Bunday yorug'lik uzatkichining VKR kuchayish spektrida 1330 nm ga siljigan markaziy to'liq uzunlikli tor chastota oralig'iga ega.

[G] ishda ikkita to'liq uzunligida ishlaydigan VKR lazari taklif etilgan. Uning sxemasi 14.8-rasmda keltirilgan.



Bu turdagi lazerda rezonator faqat bir juft panjaradan tarkib topgan. Bu hol turli to'liq uzunliklaridagi nurlanishning kogerentligini ta'minlaydi.

Yb^{+3} ionlari bilan legirlangan ikki qavat qobiqli yorug'lik uzatkichi asosidagi tolali lazerni damlash uchun to'liq uzunligi 980 nm ga teng va maksimal quvvati 4 Vt li yarimo'tkazgichli lazerdan foydalaniladi.

Yb^{+3} li lazer, rezonatori kirishidagi qaytish (aks ettirish) ko'effitsiyenti $P_{kir.}=1$ ga va chiqishdagi aks ettirish ko'effitsiyenti $P_{chiq.} = 0,2$ ga teng qilib, shakllantiriladi.

Itterbiyli lazer 1080 nm to'liqin uzunligiga va 2,5 W maksimal quvvatga ega. Nurlanish VKR lazerga germaniy silikatli shishadan tayyorlangan o'zakli tolali yorug'lik uzatkichi yordamida kiritiladi. Bunda germaniy ikki oksidining o'zakdagi molyar konsentratsiyasi to'rt foizga yaqinni tashkil etadi.

Tolali VKR-lazerlar Raman sochilishiga asoslangan tolali kuchaytirgichlarni damlash va ularning shovqin xususiyatlarini yaxshilash maqsadlarida keng qo'llanish topmoqda.

Xulosa qilib shuni ta'kidlash joizki, to'liq tolali optik aloqa tizimlari va tarmoqlarini yaratish muammosi avvalo axborotni uzatish va unga ishlov berish tezligini yanada oshirish zarurati bilan bog'liq.

Bundan 10 – 15 yil ilgari elektronika bu sohada 10 Gbit/s chegarasida o'z imkoniyatlarini ro'yobga chiqarib bo'ldi, deb hisoblanardi. Biroq keyingi yillar davomida 40 Gbit/s tezlikli tizimlar ishlab chiqildi. 80 Gbit/s tezlikli tizimlarni tajribadan muvaffaqiyatli o'tkazilgani haqida ma'lumotlar paydo bo'ldi.

Bunday katta tezlikli tizimlarning paydo bo'lishi nanotexnologiyalar va nanoelektronika sohasidagi yutuqlar bilan bog'liq. Elektron elementlarning hozirgi vaqtda 200 Hz dan yuqori chastotalarda ishlaydigan yangi sinfi — mikrovakuum elementlar haqida xabarlar bor.

Shunday qilib, bu elektron elementlar foton qurilmalari bilan birgalikda muvaffaqiyat bilan qo'llanilishi mumkin.

Xulosa

Ushbu bobda tolali optik aloqa tizimlari va tarmoqlari hamda ularda qo'llaniladigan qurilmalarning rivojlanish tamoyillari ko'rib chiqildi.

Nazorat savollari

1. *Optik aloqa tizimlarining rivojlanish tamoyillariga tavsif bering.*
2. *To'liq foto texnologiyasiga asoslangan aloqa tizimlari va tarmoqlarini yaratishga qaratilgan ishlanmalarni tavsiflang.*
3. *Optik qulf (zatvor)lardan qanday maqsadlarda foydalaniladi?*
4. *Perpendikulyar turdagi yorug'lik bilan boshqariladigan qulfning sxemasini chizib ko'rsating va ish prinsipini tushuntiring.*

5. *Parallel turdagi yurug'lik bilan boshqariladigan qulfning sxemasini chizib ko'rsating va ish prinsipini tushuntiring.*
6. *Yorug'lik bilan boshqariladigan fazoviy almashlab ulagichning tuzilishi sxemasini chizib ko'rsating va ish prinsipini tushuntiring.*
7. *Yorug'lik bilan boshqariladigan kommutatorning tuzilishi sxemasini chizib ko'rsating va ish prinsipini tushuntiring.*
8. *Tolali lazerning tuzilishini va ish prinsipini tavsiflang.*
9. *Majburiy kombinatsion sochilishga asoslangan tolali lazerlarning tuzilish sxemalari va ish prinsiplarini tushuntiring.*

Foydalanilgan adabiyotlar

1. *Скляр О.К. Современные волоконно-оптические системы передачи. Аппаратура и элементы. — М.: SOLON-R, 2001. — 238 с.*
2. *Nakatsuhara K., Hisain S. i dr. All — opnical switching in a nonlinear directionol coupler loaded with Bragg reflection ECOC'99, v.2, Nice, 1999.*
3. *Poustie A.J., Blow K.J., Kelly A.E. and Manning R.J. All-optical binary counter. TuC3.1, ECOC'99, Nice, 1999.*
4. *Sklyarov O.K. Formirovatel opticheskix impulsov. Patent №1802418, prioritet ot 08.01.1991, zaregistrovan 13.10.1993.*
5. *Игнатов А.Н. Оптоэлектронные приборы и устройства — М.: EKOTRENDZ. 2006. — 270 с.*
6. *Парамов В.М. и др. Двухчастотный волоконный VKR лазер // Квантовая электроника. 2004. - №3. — С. 213 — 215.*
7. *Dawning James N. Fiber optik communication. Publisher: Cengage learning Sep. 2004. —444 p.*
8. *Скляр О.К. Волоконно-оптические сети и системы связи: учебное пособие. 2-ое издание, стер СПб.: Изд-во «Лань». 2010. —272 с.*
9. *Кузмичев В.Н., Макковеев В.И., Светилов Ю.В. Зарождение и развитие оптической многоканальной связи // Электросвязь. №6. 2013. стр 9—14.*

MUNDARIJA

So'zboshi.....	3
----------------	---

1-bo'lim. OPTIK ALOQA TIZIMLARINING TUZILISH PRINSIPLARI VA ISH XUSUSIYATLARI

1-bob. Optik aloqa haqida umumiy ma'lumotlar

1.1. Optik aloqa rivojining qisqacha tarixi.....	7
1.2. Optik aloqaning afzalliklari.....	12
1.3. Optik aloqa tizimlarining tasnifi.....	19
1.4. Optik aloqa tizimlarining tuzilish prinsiplari.....	20
1.5. Ochiq optik aloqa tizimining tuzilish prinsipi.....	23
1.6. Tolali optik aloqa tizimining tuzilish prinsipi.....	25
1.7. Ikki tomonlama tolali optik aloqa tizimini tashkil etish usullari.....	26
1.8. Tolali optik aloqa liniyasini zichlashtirish usullari.....	29
1.9. Tolali optik aloqa tizimlarida axborotlar oqimining sinxronlash masalalari.....	34

2-bob. Optik tola va kabellar

2.1. Optik tola va uning tuzilishi.....	44
2.2. Optik tola turlari va ularning tavsiflari. Bir modali va ko'p modali optik tolalar. Pog'onali, gradiyentli va maxsus sindirish ko'rsatgichli optik tolalar.....	46
2.3. Yorug'likning optik tola bo'ylab tarqalish qonuniyatlari.....	54
2.4. Optik toladagi so'nish hodisasi.....	66
2.5. Optik toladagi dispersiya hodisasi va uning turlari.....	71
2.6. Tolali optik kabellar va ularning turlari.....	79
Foydalanilgan adabiyotlar.....	80

2-bo'lim. OPTIK ALOQA TIZIMLARINING AKTIV ELEMENTLARI

3-bob. Optik aloqa tizimlarida qo'llaniladigan yorug'lik manbalari

3.1. Optik aloqa tizimlarida qo'llaniladigan yorug'lik manbalariga qo'yiladigan talablar va ularning turlari.....	82
3.2. Yorug'lik diodlari.....	83
3.2.1. Yorug'lik diodi, uning tuzilishi va ish mexanizmi.....	83
3.2.2. Yorug'lik diodining asosiy xarakteristikalari va parametrlari.....	84
3.2.3. Yorug'lik diodining xarakteristikalari va parametrlariga tashqi omillarning ta'siri.....	97
3.2.4. Getero tuzilishi va super nurlanuvchi yorug'lik diodlari.....	98
3.2.5. Yorug'lik diodlarining tolali optik aloqa tizimlarida qo'llanilishi.....	99
3.3. Lazer diodlari.....	101

3.3.1. Kvant asboblarning ish prinsipiga oid fundamental fizik jarayonlar— energetik sathlarning teskari egallanganligi, majburiy nurlanish	101
3.3.2. Lazer diodining ish prinsipi.....	105
3.3.3. Geteroo'tishli lazer diodlari, ularning xarakteristikalar va parametrlari.....	109
3.3.4. Lazer diodining nurlanish quvvatiga tashqi omillarning ta'siri.....	113
3.3.5. Lazer diodining turlari.....	116
3.4. Tolali optik aloqa tizimlarida qo'llaniladigan yorug'lik manbalarining qiyosiy tafsivi.....	122
3.5. Tolali optik aloqa tizimlarining optoelektron uzatuvchi moduli va uning tarkibiy qurilmalari.....	124

4-bob. Optik aloqa tizimlarida qo'llaniladigan fotoqabulqilgichlar

4.1. Tolali optik aloqa tizimida qo'llaniladigan fotoqabulqilgichlarga qo'yiladigan talablar.....	128
4.2. Yarim o'tkazgichli fotoqabulqilgichlarning turlari, ularning asosiy xarakteristikalar va parametrlari.....	129
4.3. Fotodiod, uning tuzilishi, ish mexanizmi, xarakteristikalar va parametrlari...	131
4.4. p-i-n fotodiodi.....	136
4.5. Geteroo'tishli fotodiod.....	139
4.6. Shottki to'siqli fotodiod.....	141
4.7. Ko'chikli fotodiod.....	143
4.8. Fototranzistorlar.....	146
4.9. Optik uzatish tizimlarida qo'llaniladigan fotoqabulqilgich turlarining qiyosiy tavsifi.....	150
4.10. Tolali optik aloqa tizimlarining optoelektron qabul qiluvchi moduli va uning tarkibiy qurilmalari.....	155

5-bob. Optik kuchaytirgichlar

5.1. Optik kuchaytirgich va uning turlari.....	158
5.2. Aralashmali tolalar optik kuchaytirgichlar, ularning tuzilishi ish mexanizmi, xarakteristika va parametrlari.....	159
5.3. Yorug'likning Raman sochilishiga asoslangan optik kuchaytirgichlar.....	168
5.4. Yarimo'tkazgichli optik kuchaytirgichlar, ularning xarakteristika va parametrlari.....	170
5.5. Optik kuchaytirgichlarning qiyosiy tafsivi.....	174
5.6. Optik kuchaytirgichlarning parametrlarini aniqlash va hisoblash usullari.....	177
5.7. Optik kuchaytirgichlarni qo'llash usullari.....	180

6-bob. Optik modulyatorlar

6.1. Yorug'lik oqimini ichki va tashqi modulyatsiyalash usullari.....	182
---	-----

6.2. Yorug'lik nurlanishini modulyatsiyalashning fizik asoslari.....	187
6.3. Optik modulyator va uning turlari.....	191
6.3.1. Elektroptik modulyatorlar.....	192
6.3.2. Akustooptik modulyatorlar.....	197
6.3.3. Magnitooptik modulyatorlar.....	199
6.3.4. Yupqa pardali va yarimo'tkazgichli modulyatorlar.....	199
6.3.5. Spekr bo'yicha zichlashtirilgan optik aloqa tizimlarida modulyatsiyalash jarayoni.....	202
6.4. Intensivlik bo'yicha modulyatsiyalangan optik signalni fotoqabul qilgich tomonidan qabul qilish jarayonlari va ularni baholash usullari.....	203
Foydalanilgan adabiyotlar.....	208

3-bo'lim. TOLALI OPTIK ALOQA TIZIMLARINING PASSIV ELEMENTLARI

7-bob. Yorug'lik nurlanishini optik tolaga kiritish va undan chiqarish qurilmalari. Tolali optik ulagichlar va tarmoqlagichlar

7.1. Passiv optik qurilmalarning asosiy parametrlari.....	210
7.2. Yorug'lik nurlanishini optik tolaga kiritish va undan chiqarish qurilmalari.....	213
7.3. Tolali optik ulagichlar va ularning turlari	214
7.4. Optik tarmoqlagichlar: daraxtsimon va yulduzsimon tarmoqlagichlar, shahoblagich.....	218
7.5. Tolali optik tarmoqlagichlarning parametrlari.....	222
7.6. Tolali optik tarmoqlagichlarning qo'llanilishi.....	224

8-bob. Optik attenuator, optik filtrlar, izolator va sirkulatorlar

8.1. Optik attenuatorlar.....	227
8.2. Optik filtrlar.....	228
8.3. Optik izolatorlar	234
8.4. Optik sirkulatorlar.....	238

9-bob. Optik multipleksorlar va demultipleksorlar

9.1. Optik multipleksor va demultipleksorlar, ularning turlari.....	241
9.2. Yupqa pardali filtrlar asosidagi optik multipleksorlar/ demultipleksorlar.....	243
9.3. Difraksiya panjaralaridan foydalanishga asoslangan optik multipleksor /demultipleksorlar.....	245
9.4. Tolali bregg panjaralari asosidagi optik multipleksorlar.....	248
9.5. Optik multipleksor/demultipleksorlardan foydalanishga oid ayrim masalalar.....	250
9.6. Tolali optik aloqa tizimlarida invers multipleksorlash.....	251

10-bob. Optik kommutatorlar

10.1. Asosiy tushunchalar.....	254
10.2. Optik kommutatorlarning asosiy vazifalan.....	255
10.3. Optik kommutatorlarning asosiy parametrlari.....	255
10.4. Optik kommutatorlarning asosiy turlari.....	256
10.5. Katta o'lchamli optik kommutatorlarning tuzilishi.....	259
Foydalanilgan adabiyotlar.....	272

4-bo'lim. TOLALI OPTIK ALOQA TIZIMLARINING LINIYA TRAKTI

11-bob. Raqamli tolali optik aloqa tizimlarining liniya trakti

11.1. Raqamli tolali optik aloqa tizimlarining liniya traktida qo'llaniladigan asosiy qurilmalar. Retranslyatorlar, ularning turlari: regenerator va optik kuchaytirgichlar.....	275
11.2. Optik signallarni regeneratsiyalash. Regeneratorming tuzilishi va ish prinsipi.....	277
11.3. Raqamli tolali optik aloqa tizimlarining liniya kodlari.....	282
Foydalanilgan adabiyotlar.....	294

5-bo'lim. TOLALI OPTIK ALOQA TARMOQLARI

12-bob. Tolali optik aloqa tarmoqlari

12.1. Infokommunikatsion xizmatlar.....	295
12.2. Optik aloqa tarmoqlariga qo'yiladigan talablar.....	296
12.3. Optik aloqa tarmoqlarining turlari.....	297
12.4. Optik aloqa tarmoqlari.....	299
12.5. Optik kommutatorlar asosida optik aloqa tarmoqlarini tuzish prinsiplari.....	315
Foydalanilgan adabiyotlar.....	325

6-bo'lim. TOLALI OPTIK ALOQA TIZIMLARI VA TARMOQLARINI TEXNIK EKSPLOATATSIYA QILISH

13-bob. Tolali optik aloqa tizimlari va tarmoqlarini texnik ekspluatatsiya qilish va boshqarishni tashkil etish bo'yicha asosiy qoidalar

13.1. Texnik ekspluatatsiya jarayonini tashkil etish.....	326
13.2. Texnik ekspluatatsiya va boshqarish tizimini tashkil etish.....	335
Foydalanilgan adabiyotlar.....	347

7-bo'lim.

14-bob. Optik aloqa tizimlarining rivojlanish tamoyillari va istiqbollari

14.1. To'liq foton texnologiyasiga asoslangan aloqa tizimlari va tarmoqlarini yaratishga qaratilgan ishlanmalar.....	349
Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati.....	363

Nig'matilla YUNUSOV
Rixsi ISAYEV
Gulnora Xasanovna MIRAZIMOVA

OPTIK ALOQA ASOSLARI

Oliy o'quv yurtlari uchun darslik

Muharrir Xudoyberdi Po'latxo'jayev

Badiiy muharrir Jahongir Badalov

Texnik muharrir Yelena Tolochko

Musahhah Umida Rajabova

Kompyuterda sahifalovchi Gulchehra Azizova

Litsenziya raqami AI № 163. 09.11.2009. Bosishga 2014-yil 22-oktyabrda ruxsat etildi. Bichimi 60x84¹/₁₆. Ofset qog'ozi. Tayms garniturası. Shartli bosma tabog'i 21,39. Nashr tabog'i 20,5. Adadi 300 nusxa. Shartnoma № 85—2014. Buyurtma № 841. Bahosi kelishilgan narxda.

O'zbekiston Matbuot va axborot agentligining Cho'lpon nomidagi nashriyot-matbaa ijodiy uyi. 100129, Toshkent, Navoiy ko'chasi, 30. Telefon: (371) 244-10-45. Faks (371) 244-58-55.

«TOSHKENT TEZKOR BOSMAXONASI» mas'uliyati cheklangan jamiyati bosmaxonasida chop etildi. 100200, Toshkent, Radialniy tor ko'chasi, 10.

