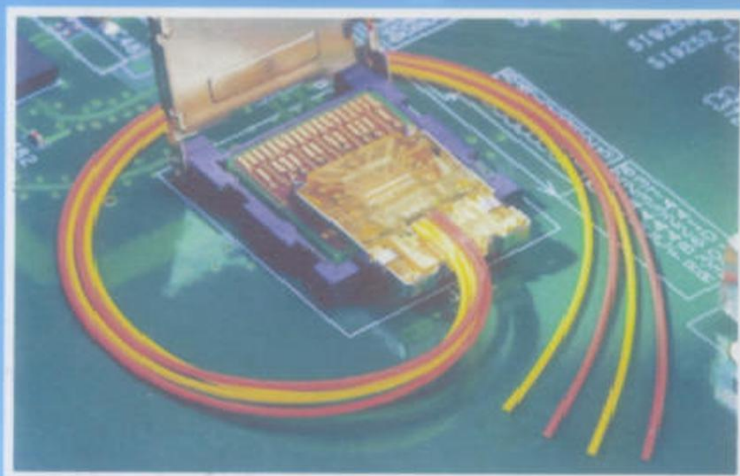


A. XOLIQOV, I. KOLESNIKOV, E. AYNAKULOV

TOLALI-OPTIK ALOQA LINIYALARI

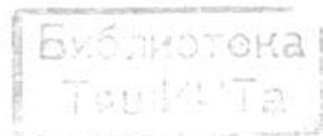


O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIIY VA O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI
O'RTA MAXSUS, KASB-HUNAR TA'LIMI MARKAZI

A. XOLIQOV, I. KOLESNIKOV, E. AYNAKULOV,

TOLALI OPTIK ALOQA LINIYALARI

Kasb-hunar kollejlari uchun o'quv qo'llanma



TOSHKENT
«NOSHIR»
2012

UDK: 535(075)

KBK: 32.811ya722

Oliy va o'rta maxsus, kasb-hunar ta'limi o'quv metodik birlashmalar faoliyatini muvofiqlashtiruvchi kengash nashrga tavsiya etgan.

Taqrizchilar:

M.K. Aripdjanov – TDTU, *“Havo yo'llarini boshqarish” kafedrası mudiri, t.f.d., professor;*

R.K. Karimov – TTYMI, *«Elektr aloqa va radio» kafedrası dotsenti*

T-71 Tolali optik aloqa liniyalar: kasb-hunar kollejlari uchun o'quv qo'llanma /A.A.Xoliqov [va boshq.]; O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi; O'rta maxsus, kasb-hunar ta'limi markazi. – Toshkent: Noshir, 2012. – 168 b.

ISBN 978-9943-4087-3-9

Temir yo'l transportida qo'llaniladigan tolali optik aloqa liniyalari-ga oid asosiy ma'lumotlar, ochiq optik aloqa va tolali optik aloqa, tola-li optik aloqa tizimlarining tuzilish printsiplari, yorug'lik uzatgichlar, ularning turlari, tavsif va parametrlar, tolali optik aloqa tizimlarining ele-ment bazasi, raqamli tolali optik aloqa tizimlarining liniya trakti va lini-ya kodlari haqida tushunchalar berilgan.

O'quv qo'llanma «Temir yo'l transportida tezkor texnologik aloqadan foydalanish bo'yicha ustasi» mutaxassisligida tahsil olayotgan temir yo'l transporti kollejining talabalariga, «Telekommunikatsiya» yo'nalishi bakalavrlariga, shuningdek aloqa sohasi xodimlari uchun mo'ljallangan.

UDK: 535(075)

KBK: 32.811ya722

ISBN 978-9943-4087-3-9

© «Noshir» nashriyoti, 2012- y.

KIRISH

Zamonaviy davr jamiyatning axborotlashtirish jarayonini keskin rivojlanishga olib kirmoqda. Bu jarayon axborot-kommunikatsiyalar xizmatlaridan foydalanuvchilarni telekommunikatsiyalar tarmqlariga yuqori tezlik bilan (keng polosali) ulanishga undaydi. Bunday talab Internetdan foydalanuvchilarning keskin o'sib borishi va multimediya, videokonferensiya, elektr raqamli imzodan foydalanish, elektron tijorat, elektron hujjat aylanish va boshqa bir qancha zamonaviy xizmatlarni hayotga kirib kelishidan chiqib kel-yapti.

Ma'lumki, yuqori tezlikdagi signallarni uzatish va qabul qilib olish uchun yuqori darajada o'tkazish qobiliyatiga ega bo'lgan yo'naltiruvchi muhit bo'lishi kerak.

Bunday talablarga optik aloqa vositalariga teng keluvchi vositalar mavjud emas. Bundan tashqari optik aloqa tizimlari orqali katta hajmdagi axborotlarni xohlagan masofalarga uzatish mumkin.

Shuning uchun optik aloqa jamiyatning axborotlashtirish jarayonini rivojlantiruvchi mukammal va istiqbolli aloqa vositasi hisoblanadi.

Foton texnologiyasi asosidagi optik aloqa (OA), ya'ni to'liq optik tarmoqlar AON (All-optical Networks) telekommunikatsiya tarmoqlarini kelajagi hisoblanadi. To'liq optik aloqa magistral tarmoqlarni, shuningdek abonentlarning tarmoqqa ulanishini ham qamrab, mijozlarni telekommunikatsiya tarmoqlariga keng polosali ulanishlarni ta'minlaydi. Foton texnologiyasi asosidagi to'liq optik aloqada kommutatsiya, multipleksorlash va regeneratsiyalash optoelektron yoki elektrooptik emas, balki faqat optik texnologiya asosida amalga oshiriladi. Bu bilan qurilmaning tex-

nik iqtisodiy ko'rsatkichlari, ishonchliligi va uzatish tezligi bir necha marta oshadi. Foton texnologiyasining aloqa tarmoqlariga tatbiq etishda optik kommutatorlar, optik regenerators, kuchaytirgichlar, filtrlar, spektr bo'yicha zichlashtirish tizimlari qo'llaniladi.

Optik aloqaning rivojlanish tarixiga nazar tashlasak, shuni aytib o'tish joizki, sivilizatsiyaning boshlang'ich davrlarida ham inson axborotlarni uzoq masofalarga uzatishda optik signallardan foydalangan. Buning uchun kunduz kuni u misol uchun tutunli signallardan yoki aks etgan quyosh nuridan, tunda esa olov signallaridan foydalangan. Vaqt o'tishi bilan u quruqlikda mashina telegrafi, dengizlarda bayroqli signalizatsiya va signal lampalari bilan almashgan. O'z navbatida oxiri telefon va telegraf radioaloqasi bilan almashdi.

1882- yil amerikalik olim Aleksandr Grexem Bell tomonidan ovozli axborotni yorug'lik nuri ko'rinishida uzatish imkonini beruvchi optik telefon ishlab chiqildi.

Fan-texnika, kvant fizikasi, optoelektronika bo'yicha erishilgan yutuqlar, optik kvant generatorlarini (lazerlarni) yaratilishi bilan optik aloqaning rivojlanishini zamonaviy davri boshlandi.

60- yillar boshida birinchi lazer yaratildi. Trakt sifatida yer usti atmosfera qatlami, ya'ni ochiq aloqa liniyasi ishlatilgan. Hozirda bunday tizimlar kosmosda, ba'zi xorijiy mamlakatlarda ko'p qavatli binolarda qo'llanilmoqda.

70- yillarda kvars shisha materialidan olingan tola nurni yutuvchi qo'shimchalarni olib tashlash yo'li bilan so'nish qiymatlarini kamatirish usuli yaratildi va 1979- yilga kelib, optik tolani so'nish qiymatlarini 0,2 dB/km gacha kamaytirish mumkinligi aniqlandi. Hozirgi kunda nafaqat so'nish qiymatlari, balki spektr bo'yicha zichlashtirilgan tizimlarni bir necha to'lqin uzunliklarini bitta tola orqali bir vaqtda uzatish imkonini beruvchi, dispersiya qiymati minimal bo'lgan bir moddali tolalar ham yaratilgan. Bunday tolalar

Lyusent Texnologiz, Korning kabi ko'plab xorijiy kompaniyalar tomonidan ishlab chiqarilmoqda.

Har biri 20 Gbit/s tezlikli 55 ta kanalni multipleksorlab, bitta tola orqali uzatish mumkin, bunda yig'indi tezlik 1,1 Tbit/s ni tashkil etadi.

Zamonaviy axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini hayotga tatbiq etilishi, fan texnikaning jadal rivojlanishi bilan bilimlarni tezda yangilanishi o'quvchilar oldiga ana shu bilimlarni tizimli va mustaqil egallash vazifasini qo'yadi.

1.TOLALI OPTIK ALOQA LINIYALARI

1.1. O'ZBEKISTONDA TOLALI OPTIK ALOQA LINIYALARI ISTIQBOLLARI

O'zbekiston respublikasida ham jamiyatni axborotlashtirish borasida ko'pgina ishlar amalga oshirildi va bu ishlar davom etmoqda. Bu maqsadda 1995 - yil 1 - avgust Vazirlar Mahkamasini tomonidan qabul qilingan «2010 - yilgacha muddatda O'zbekiston Respublikasi telekommunikatsiya tarmoqlarini rivojlantirish va rekonstruktsiya qilish Milliy dasturi» qabul qilindi. Ushbu dasturga muvofiq 1995-1997 - yillarda TOO (Trans-Osiyo-Ovropa) magistralini jahon standartlariga mos keluvchi, raqamli transport tarmog'ini Milliy segmentini qurish boshlandi va uzunligi 830 km dan oshiq magistral TOA (tolali optik aloqa) liniyasi foydalanishga topshirildi. TOO Milliy segmentida Siemens (Germaniya) firmasining tolali optik kabellaridan foydalanildi.

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

1996 – 1997 - yillarda Toshkent shahrida “Siemens” tolali optik kabellarini qo'llab barcha elektron ATSlarni va shuningdek tugunli analog ATSlarni birlashtiruvchi katta transport halqa qurildi.

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

Hozirda tashqi iqtisodiy birdamlik Yaponiya banki krediti hisobiga Farg'ona vodiysining uchta viloyatini halqali tarmoqlarini qurish, Qashqadaryo, Sirdaryo viloyatlarida halqali hududiy telekommunikatsiya tarmoqlarini qurish, Buxoro – Nukus uchastkasi-da TOA liniyasini Buxoro–Navoiy–Zarafshon–Uchquduq–Nukus TOA liniyasi orqali rezervlash ishlari amalga oshirilmoqda. Bu loyiha doirasida 2000 km magistral, 700 km hududiy TOA liniyalarini qurish nazarda tutilgan.

Bu loyiha o'z-o'zini tiklovchi halqa tuzilishi va raqamli uzatish tizimlarini qo'llash asosida kanal va traktlarning zaxirasini ta'minlaydi, natijada aloqa tarmoqlarining ishonchliligi yanada oshadi.

O'zbekiston telekommunikatsiya tizimining 28 ta yo'nalish bo'yicha dunyoning 180 ta mamlakatiga chiqadigan to'g'ridan to'g'ri xalqaro kanallari mavjud. Bular ham tolali optik va shuningdek, sun'iy yo'ldoshli tizimlaridan foydalanilmoqda. Butun tarmoq nafaqat hozirda, balki keyinchalik ham hozirdan ko'proq axborot o'tkazish quvvatiga ega.

1.2. OPTIK ALOQAGA OID ASOSIY TUSHUNCHALAR

Optik aloqa (OA) bu axborot yorug'lik nuri ko'rinishida optik tola bo'ylab yoki ochiq fazo atmosferada uzatiladigan aloqadir. Axborot tola orqali uzatilsa, tolali optik aloqa (TOA) tizimi, ochiq atmosferada uzatilsa, ochiq optik aloqa (OOA) tizimi deyiladi.

OOA tizimlarida nurlanish manbalari elektromagnit to'lqinlarni ochiq fazoga nurlantiradi, bunda nurlanishni tarqalish yo'nalishi faqatgina antenaning yo'nalish diagrammasi bilan aniqlanadi. OOA tizimlarining uzatuvchi muhiti o'z navbatida uch turga bo'linadi: atmosfera, kosmik va suv osti aloqa muhitlari.

Atmosfera OOA tizimlarida to'lqinlarni tarqalish xarakteristikasi yetarli darajada ob-havo sharoitlariga bog'liq. Atmosfera va

suv osti uzatish muhitlarining fizik bir turda emasligi va ularning tarkibidagi begona zarrachalarni uzatilayotgan nurlanish to'ldini bilan o'zaro ta'sirda bo'lishidan elektromagnit to'ldinlar buziladi.

Zarracha o'lchamlarining to'ldin 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'ldinlarni tarqalish yo'nalishiga tushib qoladigan zarrachalar asosan optik nurlanishni yutadi va sochadi.

Bu omillarning ta'sir darajasi muhit turiga (suv osti, 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 OOA tizimlarida uzatish muhiti bu atmosferadan xoli bo'lgan ochiq fazodir. Kosmik muhitda atmosfera muhitlariga xos bo'lgan buzilishlar hosil bo'lmaydi, ular barqaror bo'lib, aloqaning yuqori ishonchliligini ta'minlaydi. Kosmik muhitlarda asosiy yo'qotishlar bu tarqalishda hosil bo'ladigan yo'qotishlar hisoblanadi.

Bu yo'qotishlar signal L masofaga tarqalganda nurlanish maydoni quvvatining yo'qotish koeffitsiyenti bilan baholanadi va quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$Z_p = \frac{1}{4\pi L^2}, \quad (1.1)$$

Kosmik aloqa tizimlarini loyihalashtirishda asosiy masala bu uzatish va qabul qilish antennalarining o'lchamlarini mos ravishda to'g'ri tanlash orqali yo'qotishlarni bartaraf etish hisoblanadi.

OA tizimining asosiy yo'nalishi TOA tizimi hisoblanadi. Chunki hozirgi vaqtda yuqori darajadagi uzatish xarakteristikalariga ega bo'lgan yorug'lik uzatgichlar ishlab chiqilgan. Ammo axborotlarni ochiq fazoda, atmosferada uzatishga asoslangan OOA tizimlari ham, radioaloqa uchun ajratilgan chastotalarni to'ldiruvchi vosita sifatida qiziqishlarni namoyon etadi.

TOA tizimlarida elektromagnit nurlanishlarning tarqalish yo'lini tashkil etish uchun maxsus optik yorug'lik uzatgichlar – optik tolalar qo'llaniladi.

TOA tarmog'i bu tugunlar orasi optik aloqa liniyalari orqali bog'langan aloqa tarmog'idir.

1.3. TOANING AFZALLIKLARI, KAMCHILIKLARI VA QO'LLANISH SOHALARI

Axborotni TOA liniyalari orqali uzatish mis kabellar va boshqa uzatish muhitlariga qaraganda bir qancha afzalliklarga ega. Shu afzalliklari tufayli TOA tizimidan nafaqat telefon aloqasini tashkil etishda, balki televideniya, ovoz eshittirishlarini uzatishda, hisoblash texnikasida, transport vositalarida va boshqa sohalarda keng foydalanilmoqda.

TOA tizimlarida uzatish muhiti sifatida qo'llaniladigan optik tolalarning afzalliklari quyida keltirilgan.

O'tkazish oralig'ining kengligi. Bu tashuvchi chastotasining juda yuqoriligi $10^{14} - 10^{15}$ bilan tushuntiriladi. Bitta optik tola bo'ylab sekundiga bir necha terabit axborotlar oqimini uzatish imkoniyati mavjud. O'tkazish oralig'ining kengligi tolali optik aloqaning 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'liq uzunligida 0,2–0,3 dB/km so'nishga ega. So'nish va dispersiya qiymatlarining kichikligi optik signallarni TOA liniyalari bo'ylab retranslyatsiyasiz 100 km va undan uzoq masofalarga uzatish imkonini beradi.

Shovqin sathining kichikligi optik tolaning o'tkazish qobiliyatini oshiradi.

Shovqindan yuqori darajada himoyalanganlik. Optik tola dielektrik materiallar – kvars, ko'p tarkibli shisha, polimerlardan tayyorlanganligi uchun u elektromagnit nurlanishni induksiyalash xususiyatiga ega atrofidagi mis kabelli tizim va elektr qurilmalarining (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 [1].

Bu afzalligi tufayli optik kabellardan ishlab chiqarish korxonalarida, boshqaruv markazlarida, samolyot va kema kabi transport vositalarida foydalangan maquldir. 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 [2]. Bunday holatda elektromagnit va o'zaro shovqinlar yuzaga keladi. Optik kabellarning esa bunday shovqinlarga ta'sirchan emasligini aytib o'tildik.

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 kabelli 0,1sm diametrli bitta optik tola bilan almashtirilishi mumkin. Agar optik tola bir necha himoya qobiqlaridan iborat va bron po'lat lenta bilan qoplangan bo'lsa, bunday tola diametri 1,5 sm ga teng bo'ladi, bu esa ko'rilayotgan 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 tolali 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 oshiqqa kamaytiradi [2].

Aloqaning mahfiyligi. Tolali optik kabellar radio to'lqin 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 tebranishlarga, bosimni 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 [1].

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

Iqtisodiy jihatdan samaradorligi. Optik tola kvartsdan ishlab chiqariladi. Uning asosini tabiatda keng tarqalgan kremniy ikki oksidi SiO_2 tashkil etadi. Demak, tolali optik kabellarini ishlab chiqarish uchun noyob rangli metal sarflanmaydi. Mis va qo'rg'oshinning 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 TOA liniyalarida optik kabellarning qo'llanilishi retranslyatorlar sonini 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 boradi. Biroq, optik tola ishlab chiqarishning zamonaviy texnologiyalarining mukammallashuvi bu jarayonni sekinlashtiradi va foydalanish muddatini uzaytiradi. Tolali optik kabellardan foydalanish muddati taxminan 25 yilni tashkil etadi.

Masofaviy elektr ta'minotga ega ekanligi. Ba'zi hollarda tarmoq tugunlarining masofaviy elektr ta'minoti talab etiladi. Buni optik tola orqali amalga oshirib bo'lmaydi. Bu holda optik tola bilan birgalikda mis o'tkazish elementi bilan jihozlangan aralash kabellardan foydalanish mumkin. Bunday kabellar ko'pgina mamlakatlarda keng qo'llaniladi [1].

Hozirgi kunda turli vazifali va tuzilishli optik tola va kabellar ishlab chiqarilmoqda. Keng polosali uzoq aloqa tizimlari, jumladan magistral aloqa uchun toladan faqatgina asosiy to'lqin tarqaladigan bir moddali kabellarning yangi turlari ishlab chiqarilmoqda. Magistral aloqa liniyalarida 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.

Magistral aloqada qo'llaniladigan bunday kabellarni ishlab chiqish murakkab va qimmat. Bunday kabellar qo'llanilganda lazer nurlanish manbalaridan foydalaniladi. Lazer manbalariga ham nurlanish spektrining tozaligiga, nurlanish xarakteristikalarining barqarorligiga yuqori talablar qo'yiladi.

Tezligi 100 Mbit/s gacha bo'lgan va aloqa masofasi chegaralangan (taxminan 10 km gacha) tizimlarda nisbatan arzon va oxirgi qurilmalar bilan oson moslashadigan ko'p moddali

kabellardan foydalangan ma'qul. Bunda nurlanish manbai sifatida ko'p moddalarni nurlantiruvchi oddiy turdagi yarim o'tkazgich yorug'lik diodlarini ishlatish mumkin.

Yangi turdagi optik tolalarning (siljigan dispersiyasi nolga teng bo'lmagan), keng polosali kvant optik kuchaytirgichlarning yaratilishi to'liq optik tizim va optik traktlarni qurish imkoniyatini yaratmoqda. Bunday texnologiyalardan 100 va 1000 Gbit/s o'tkazish oraliqli tizimlarni yaratishda foydalaniladi.

TOA ko'plab bir qancha afzalliklarga ega bo'lishiga qaramay kamchiliklarga ham ega. Bu TOA qurilmalarining qimmatligi va ba'zi optik texnologiyalarning mukammal darajaga yetmaganligi bilan tushuntiriladi. Bunga bog'liq holda quyidagi kamchiliklarni aytish mumkin:

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

- **tolali optik aloqa liniyalarini montaj qilish va xizmat ko'rsatishning murakkabligi.** Elektrik 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 signallarning yo'qolmasligi uchun tolani ortiqcha yuklash va bukilishlardan himoyalash kerak. Maxsus himoyalashni tashkil etish, ishonchlilikni oshirish maqsadida optik tolani ishlab chiqarish jarayonida tola epoksiakrilad asosidagi maxsus lak bilan qoplanadi. Bundan tashqari, kabel maxsus po'lat tros va shisha plastik sterjenlar hisobiga yanada mustahkamlanishi mumkin [1].

Bularning barchasi tolali optik kabel narxini oshiradi. Bu kamchiliklar TOA texnologiyasining kelgusi rivojlanishida qisman yoki to'liq bartaraf etiladi.

1.4. OPTIK ALOQA TIZIMLARINING TUZILISH PRINSIPLARI

OA da axborotlarni yorug'lik yoki optik signallar ko'rinishida uzatish va qayta ishlash amalga oshiriladi. OA uchun yorug'lik nurlanishi va to'lqin uzunligi turini tanlash uzatilayotgan axborot xarakteriga, shuningdek nurlanish hosil qilish imkoniyalariga, undan signal shakllanishiga, yorug'lik to'lqinini uzatish va qayta ishlashga va nihoyat, axborotga ega signalni qabul qilishga bog'liq.

OA tizimining umumlashgan tuzilish sxemasi 1.1 - rasmda keltirilgan. Sxema OA ning turlari TOA va OOA ga xos standart bloklardan (elementlardan) tashkil topgan [3].



1.1 - rasm. OA tizimining umumlashgan tuzilish sxemasi:

1 – axborotlar manba; 2 – optik uzatgich va modulator; 3 – optik kanal; 4 – optik qabul qilgich.

Axborotlar manbadan uzluksiz yoki raqamli signallar beriladi. So'ng signallar yorug'lik oqimi-tashuvchi chastotaning elektromagnit tebranishlarini modulatsiyalaydi.

So'ng yorug'lik nuri ko'rinishidagi optik signallar uzatuvchi muhit - optik kanal orqali tarqaladi.

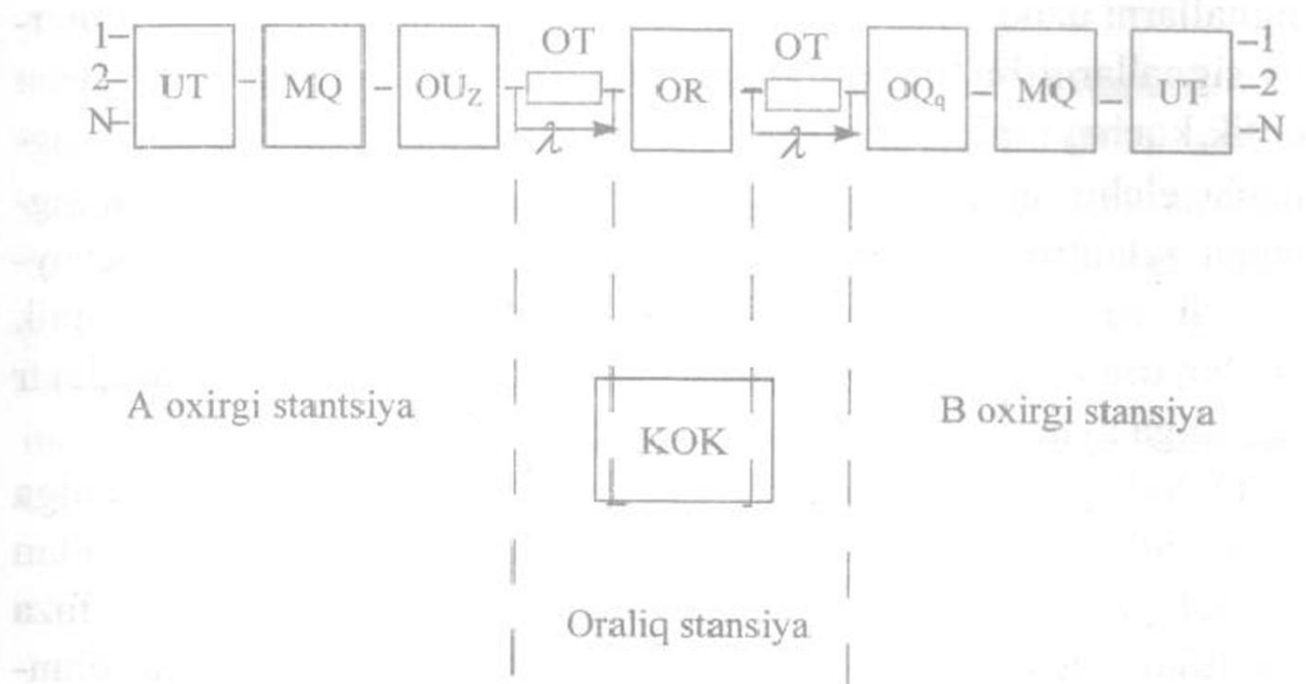
Uzatuvchi muhit yuqorida aytib o'tilgandek ochiq fazo, atmosfera, ya'ni OOA liniyasi yoki TOA liniyasi bo'lishi mumkin.

Uzatilgan axborotlar optik qabul qilgich demodulatorida demodulatsiyalanadi.

Demodulatorning asosiy elementi optik fotodetektor hisoblanadi.

Signallarni uzoq masofalarga uzatishda, qachonki qabul qilgich kirishida signal/shovqin nisbati talab darajasidan past bo'lganda liniyada retranslyatorlar o'rnatiladi.

TOA tizimining tuzilish sxemasini (1.2 - rasm) to'liq ko'rib chiqami.



1.2 - rasm. TOA tizimining tuzilish sxemasi.

TOA tizimining tuzilish sxemasi tarkibiga quyidagilar kiradi [4]:

UT – uzatish tizimi; MQ – moslashtiruvchi qurilma; OU_z – optik uzatgich; OT – optik tola; OR – optik regenerator; KOK – kvant optik kuchaytirgichi; OQ_q – optik qabul qilgich.

UT, MQ, OU_z va UT, MQ, OQ_q mos ravishda A va B oxirgi stansiyalarining uzatish va qabul qilish traktlarini tashkil etadi. Oraliq stansiyalarda OR, KOK o'rnatiladi. Tolali optik liniya traktiga OU_z, OT, OR, KOK, OQ_q kiradi.

1.2 - rasmda ko'rsatilganidek, uzatuvchi stansiyadan N birlamchi elektrik signallar uzatish tizimiga tushadi. UT chiqishidan ko'p kanalli elektr signali moslashtiruvchi qurilmaga beriladi. MQ da bu signal tolali optik liniya trakti bo'ylab uzatiladigan ko'rinishga o'zgartiriladi. Optik uzatgichda elektr signali optik tashuvchini modulatsiyalash yo'li bilan optik signalga aylanadi. So'ng bu optik signal optik tola bo'ylab uzatiladi.

Optik signal tola bo'ylab tarqalganda so'nadi va buziladi. Optik signallarni uzoq masofalarga uzatish maqsadida ma'lum oraliqlarda signallarni buzilish darajasiga qarab regeneratorlar yoki kvant optik kuchaytirgichlar o'rnatiladi. Regenerator kirishida optik signallar elektr signaliga, chiqishida esa elektr signaldan optik signalga aylantiriladi, ya'ni regeneratorlarda elektr signallar kuchaytiriladi, sozlanadi va boshlang'ich formasi tiklanadi. Kvant optik kuchaytirgichlari qo'llanilganda esa so'ngan optik signallar elektr signaliga aylantirib o'tilmasdan kuchaytiriladi.

Qabul quluvchi B oxirgi stansiyada teskari jarayon amalga oshiriladi. OA da optik tashuvchini informatsion signal bilan modulatsiyalash uchun chastota modulatsiyasi (ChM), faza modulatsiyasi (FM), amplituda modulatsiyasi (AM), qutblangan modulatsiya (QM), intensivlik bo'yicha modulatsiyalash va modulatsiyaning boshqa turlarini qo'llash mumkin. Optik nurlanishning intensivlik bo'yicha modulatsiyalash turi ko'proq qo'llaniladi. Bunga sabab, bu modulatsiya turi keng chastota diapazonida optik o'tkazgichlarda qo'llaniladigan oddiy texnik qurilmalar yarim o'tkazgich nurlanish manbalari (yorug'lik diodi, lazer diodlar) uchun bajariladi. Yarim o'tkazgich manbaning nurlanish jadalligini boshqarish uchun modulatsiyalaydigan 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 modulatsiyasi teskari jarayon optik signalni elektr sig-

naliga aylanish masalasini yengillashtiradi. Darhaqiqat, fotoqabul qilgich tarkibiga kiruvchi fotodetektor kvadratik asbob hisoblanib, uning chiqishidagi tok optik maydon amplitudasining kvadratiga proporsional.

Intensivlik bo'yicha modulatsiyalangan optik signalni bevosita fotodetektorga berib, osongina uni boshlang'ich signal ko'rinishini saqlagan elektr signaliga aylantirish mumkin. Optik signallarni qabul qilishning bu usuli to'g'ridan to'g'ri fotodetektorlash usuli deyiladi.

Hozirgi kunda OA ning oxirgi qurilmalari sifatida raqamli uzatish tizimlari (RUT)dan foydalanilmoqda. Chunki RUT analog uzatish tizimlariga qaraganda quyidagi afzalliklarga ega: shovqin bardoshliligi yuqori, signalni uzatish sifati liniya trakti uzunligiga kam bog'liq, texnik iqtisodiy ko'rsatkichlari yuqori va boshqalar. Kanallari chastota bo'yicha bo'lingan analog uzatish tizimlarining bir qancha kamchiliklari tufayli, ularning OA da qo'llanilishi chegaralangan.

1.5. RAQAMLI VA ANALOG TOA TIZIMLARI

Qo'llaniladigan modulatsiya turiga qarab TOA tizimlari analog va raqamligiga bo'linadi.

Analog TOA tizimlarida modulatsiyaning analog usullari: intensivlik bo'yicha modulatsiyalash, amplituda, chastota va faza modulatsiyasi turlari qo'llaniladi.

Optik nurlanish manbalarining yuqori nochiziqliligi va analog uzatish uchun talab etiladigan shovqin bardoshlilikni ta'minlash texnik murakkabligi sababli analog TOA tizimlaridan foydalanish chegaralangan.

Shunga qaramay bir qator sohalarda qo'llaniladi (optik kabelli televideniyada, telemetriya, operativ va xizmat aloqa tizimlarida).

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

Ikki tomonlama TOA ni tuzish usullari

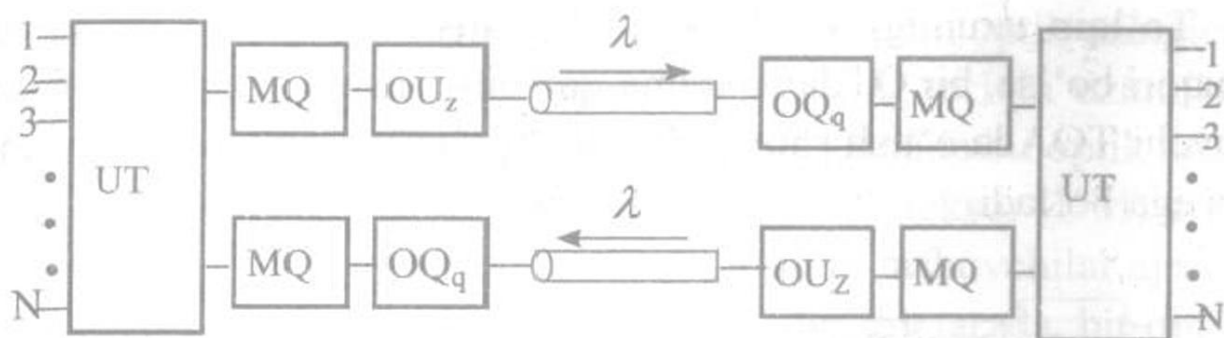
TOA tizimlari liniya trakti tuzilishiga qarab quyidagilarga bo'linadi:

- ikki tolali bir polosali bir kabeli (to'rt o'tkazgichli bir polosali bir kabelli);
- bip tolali bir polosali bir kabelli (ikki o'tkazgichli bir polosali bir kabelli);
- bir tolali ko'p polosali bir kabeli yoki spektr bo'yicha zichlashtirilgan tizimlar.

1.2- rasmda ko'rsatilgan TOA ning tuzilish sxemasi faqat uzatishning bir yo'nalishini ko'rsatadi.

Bunday tuzilishda optik signallarni uztish va qabul qilish ikki tola bo'ylab (1.3 - rasm), bitta λ to'lqin uzunligida amalga oshiriladi.

Hap bir optik tola ikki simli fizik zanjirga o'xshaydi, chunki kabelning optik tolalari orasida o'zaro o'tishlar bo'lmaydi [4]. Shuning uchun TOA ning uzatish va qabul qilish traktlari bitta kabel bo'ylab tashkil etiladi, ya'ni TOA bir kabelli hisoblanadi. Shu tarzda, berilgan optik liniya traktini tashkil etish sxemasi ikki tolali bir polosali bir kabelli hisoblanadi.



1.3-rasm. Ikki tolali bir polosali bir kabelli TOA sxemasi.

Ushbu aloqa tashkil etish sxemasining afzalligi bu oxirgi va oraliq stansiyalarning uzatish va qabul qilish quril

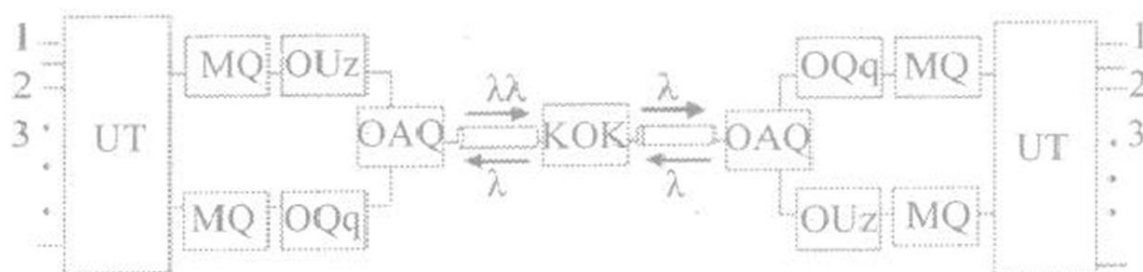
malarining bir turdaligidir. Kamchiligi esa optik tola (OT)ning o'tkazish qobiliyatidan foydalanish koeffitsiyenti juda kichik.

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 informatsiyani uzatish hisobiga uning o'tkazish qobiliyatidan foydalanish samaradorligini oshirish masalasi yuzaga keldi. Bunga masalan, bitta optik tola (OT) bo'ylab qarama-qarshi yo'nalishdagi signallarni uzatish hisobiga erishish mumkin.

Bir tolali bir polosali bir kabelli optik liniya traktining tuzilish sxemasi 1.4- rasmda ko'rsatilgan. OT ni bir to'lqin uzunligida ikkala yo'nalish signallari uchun qo'llanilishi bu sxemaning xususiyati hisoblanadi [4]. Qarama-qarshi ikki yoqlama signallarni uzatganda oqimlar orasida o'zaro o'tish shovqinlari hosil bo'ladi. O'tish shovqinlari OT va tarmoqlagichlardagi teskari yutilishdan, yorug'likni ulangan joylardan va liniya oxiridagi ajraladigan ulagichlardan qaytishi natijasida vujudga keladi.

Shovqin sathi va uning spektr tarkibi uzatilayotgan signalning uzatish tezligiga, impuls formasiga va liniya trakti parametrlari (tola so'nishi, to'lqin uzunligi, sonli apertura, sindirish ko'rsatkichi)ga bog'liq.

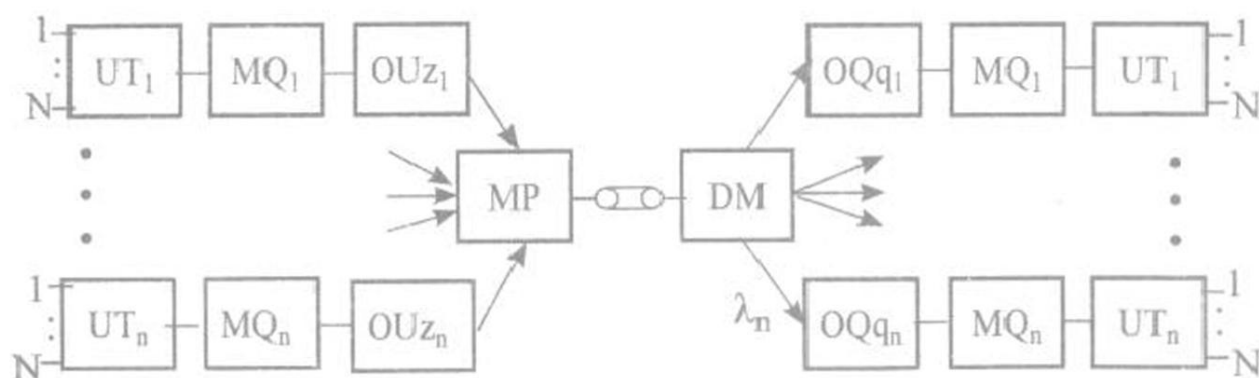
To'liq uzunligi 1,55 mkm va uzatish tezligi 35 Mbit/s dan yuqori bo'lsa, bir OTdan qarama-qarshi yo'nalishli signallarni uzatuvchi TOAda o'tish shovqinlari kichik bo'lib, optimal ish rejimiga ega bo'ladi.



1.4-rasm. Bir tolali bir polosali bir kabeli TOA sxemasi.

Spektr bo'yicha zichlashtirilgan (bir tolali ko'p polosali bir abelli) TOAda bir optik tola bo'ylab bir vaqtda spektr bo'yicha ajratilgan bir necha optik tashuvchilar uzatiladi. Bunday tizimlarni tuzish qo'llaniladigan spektr oralig'ida optik kabelning so'nish koeffitsiyentini optik tashuvchi chastotasiga (yoki to'liq uzunligiga) 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.

Optik kanallari spektr bo'yicha ajratilgan TOAning tuzilish sxemasi 1.5-rasmda ko'rsatilgan [5].



1.5-rasm. Spektr bo'yicha ajratilgan TOAning tuzilish sxemasi.

Uzatuvchi stansiyaning n tizimlaridan signallar n optik uzatgich OUz ga uzatiladi. OUz chiqishidagi $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ to'liq uzunlikli turli optik tashuvchilar multipleksor (MP) yordamida bir optik tola-ga kiritiladi. Qabul qiluvchi stansiyada demultipleksor (DM) yor-damida $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ to'liq uzunlikli turli optik tashuvchilar ajrati-ladi va optik qabul qilgich (OQq) ga beriladi. Shu tarzda, bir optik tola orqali n spektr bo'yicha ajratilgan optik kanallar tashkil qilina-di, ya'ni o'tkazish qobiliyatidan foydalanish koeffitsiyenti bosh-qa an'anaviy tuzilgan optik tizimlarning liniya traktiga nisbatan n marta oshadi.

Optik tashuvchilarni birlashtirish va ajratish uchun turli optik spektral qurilmalar qo'llanilishi mumkin: multipleksor va demulti-pleksorlar. Ularning ishi fizik optikaning dispersiya, difraksiya va interferensiya hodisalariga asoslangan. Multipleksor va demulti-pleksorlarning tuzilish asosida optik prizma, ko'p qatlamli dielek-trik, difraksion panjara va boshqalar bo'lishi mumkin.

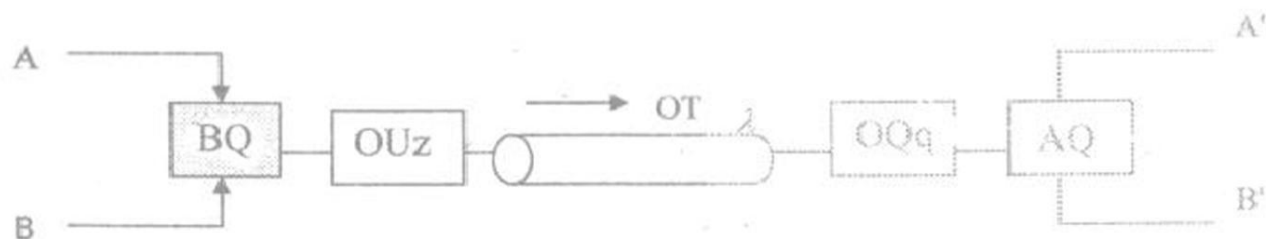
1.6. TOA liniyalarini zichlashtirish usullari

Tolali optik aloqa liniyalarini quyidagi zichlashtirish usullari mavjud: vaqt bo'yicha, chastota va spektr 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. Elektrik signallar darajasida vaqt bo'yicha zichlashtiril-gan TOA liniya traktining tuzilish sxemasi 1.6-rasmda ko'rsatil-gan [4].

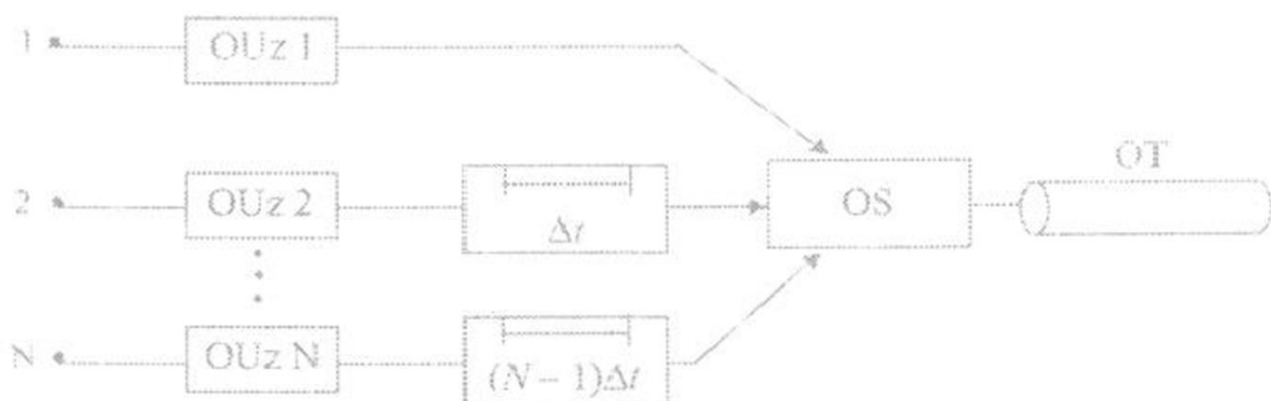
A va B kirishdan tushayotgan elektrik signallarning ikki qism impulslari (N manba bo'lishi mumkin) birlashtiruvchi qurilma (BQ) yordamida vaqt buyicha aniq ketma-ketlikka ega guruhli sig-nalga birlashtiriladi. Guruhli signal optik uzatgich OUz da optik

tashuvchini modulatsiyalaydi. Optik nurlanish OT bo'ylab tarqaladi va optik qabul qilgich OQq da qaytatdan elektr signaliga o'zgartiriladi. So'ng bu signal ajratuvchi qurilma (AQ) yordamida A^1 va B^1 chiqishlariga beriladigan impulslarga ajratiladi.



1.6-rasm. Elektrik signallar darajasida vaqt bo'yicha zichlashtirilgan TOA ning liniya trakti.

Optik va raqamli oqimlarni birlashtirish sxemasi 1.7 - rasmda ko'rsatilgan [4].



1.7-rasm. Optik signallar darajasida vaqt bo'yicha zichlashtirilgan TOAning liniya trakti.

N manbadan elektrik raqamli oqimlar N optik uzatgich OUz ga tushadi. OUz da elektr signallar optik signallarga o'zgartiriladi. Optik signallarni birlashtirishdan oldin ularni $\Delta t; 2 \Delta t; 3 \Delta t; \dots (N-1) \Delta t$ ga kechikishi ro'y beradi. Bunday kechikishdan keyin optik siljitgich (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 impulslarni uzatish TOA uzatib qabul qiluvchi apparaturalarining optoelektron qurilmalarining oxirgi imkoniyatiga yaqin bo'lgan tezkorligiga juda yuqori talablar qo'yadi. Bundan tashqari, optik tolaning dispersiya xususiyatlari tufayli uzatish tezligi, o'tkazish oralig'i ham chegaralangan.

Vaqt bo'yicha zichlashtirishning asosiy afzalligi bu OT o'tkazish qobiliyatidan foydalanish koeffitsiyentining ortishi va to'liq optik aloqa tarmoqlarini yaratish imkoniyatining mavjudligi hisoblanadi.

Chastota bo'yicha zichlashtirish. Chastota bo'yicha zichlashtiriladigan TOA liniyalarida turli axborot manbalarining boshlang'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 modulatsiyalashda yarim o'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 TOAda spektral yaqin joylashgan kanallarni hosil qilish uchun turli manbalarining turli tashuvchilaridan emas, balki optik tashuvchilarni surish yor-damida bitta manbaning turli tashuvchilaridan foydalaniladi.

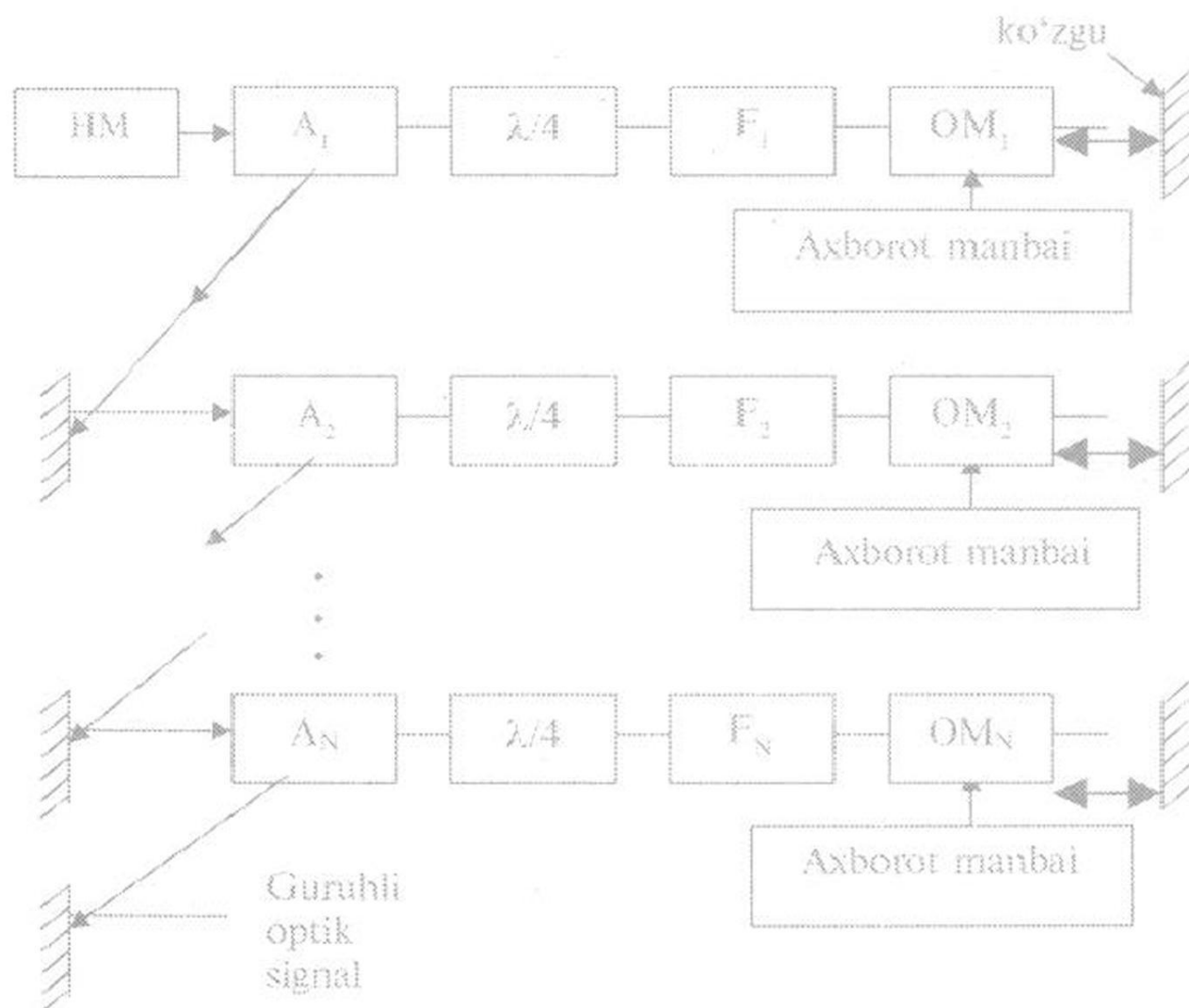
Guruhli signallarni shakllanish sxemasi 1.8-rasmda tasvirlangan [4].

Qator $n_1, n_2, \dots, n_n$ 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 n_1 optik tashuvchisini OM_1 optik modulatoriga o'tkazadi va bu yerda u axborot manbayidan berilgan

signal bilan modulatsiyalanadi. $\nu_2, \nu_3, \dots, \nu_n$ (ν_1 , dan tashqari) chastotali optik nurlanish filtdan aks etib, u ham A_1 analizatorga qaytadi. Yo'li bo'ylab u ikkinchi marta chorak to'liqli $\lambda/4$ prizmadan o'tib, A_2 analizatorga tushadi.



1.8-rasm. Chastota bo'y icha (geterodinli) zichlashtirishda guruhli optik signallarning shakllanish sxemasi.

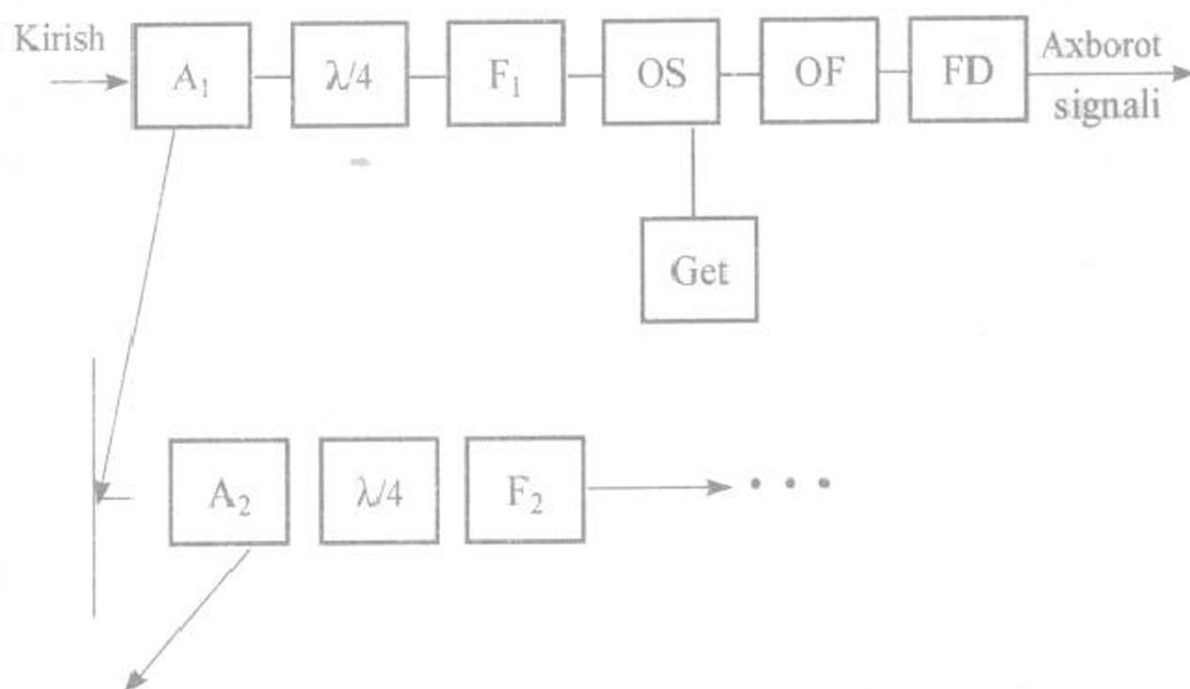
OM_1 optik modulatoreda informatsion signal bilan modulatsiyalangan birinchi kanalning optik tashuvchisi ko'zgudan aks etib, A_1 analizatorga qaytadi. Ikki martalab chorak to'liqli $\lambda/4$ prizmadan o'tgan optik signalning qutblanish yuzasi boshlang'ich tebranishning qutblanish yuzasiga nisbatan $\pi/2$ 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 n_2 chastotali optik nurlanish modulatsiyalanadi.

Shu tarzda optik liniya traktida uzatiladigan optik guruhli signal shakllanadi.

Qator modulatsiyalangan optik tashuvchilardan iborat qabul qilinadigan optik guruhli signal, A_1 analizatorga kelib tushadi, so'ng esa chorak to'liqinli $\lambda/4$ prizma va birinchi kanalning F_1 filtri orqali o'tgach optik siljitgichga (OS) beriladi (1.9-rasm), F_1 filtri n_1 chastotali optik signallarni o'tkazadi, boshqa chastotali signallar aks etib, A_2 ga kelib tushadi. n_1 chastotali modulatsiyalangan optik tashuvchi OS da ko'payadi, so'ng n_{or} oraliq chastota OF oraliq filtri yordamida ajratib olinadi va FD fotodetektorga beriladi. FD chiqishida elektr axborot signali shakllanadi. Shu tariqa boshqa signallarni qabul qilish amalga oshiriladi [4].



1.9-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 foydalanish koeffitsiyenti ortadi.

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

Spektr bo'yicha zichlashtirish.

Optik tolaning o'tkazish qobiliyatidan foydalanish koeffitsiyentini oshirishning istiqbolli yo'nalishlaridan biri spektr bo'yicha (to'lqin bo'yicha) zichlashtirishdir. Spektr bo'yicha zichlashtirish usuli 2.3-rasmda tasvirlangan edi. Bunda liniya kabelidagi tola narxini kamayishi hisobiga sezilarli darajada iqtisodiy samaradorlikka erishiladi. Bundan tashqari, bu usul qo'shimcha qurilish ishlarisiz tarmoq rivojlanishini ta'minlash, shuningdek tarmoqlangan daraxtsimon va halqali tarmoqlarni yaratish imkonini beradi. Bunda har xil tezlikli va raqamli, analog turli modulatsiyali (telefon, televidenie, telemetriya, EHM boshqarish signallari) signallarni uzatish imkoniyati kengayadi. Bu esa iqtisodni tejovchi ko'p funksiyali aloqa tizimlarini tashkil etishni ta'minlaydi.

Optik tolaning spektral o'tkazish oralig'idan bir muncha 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.

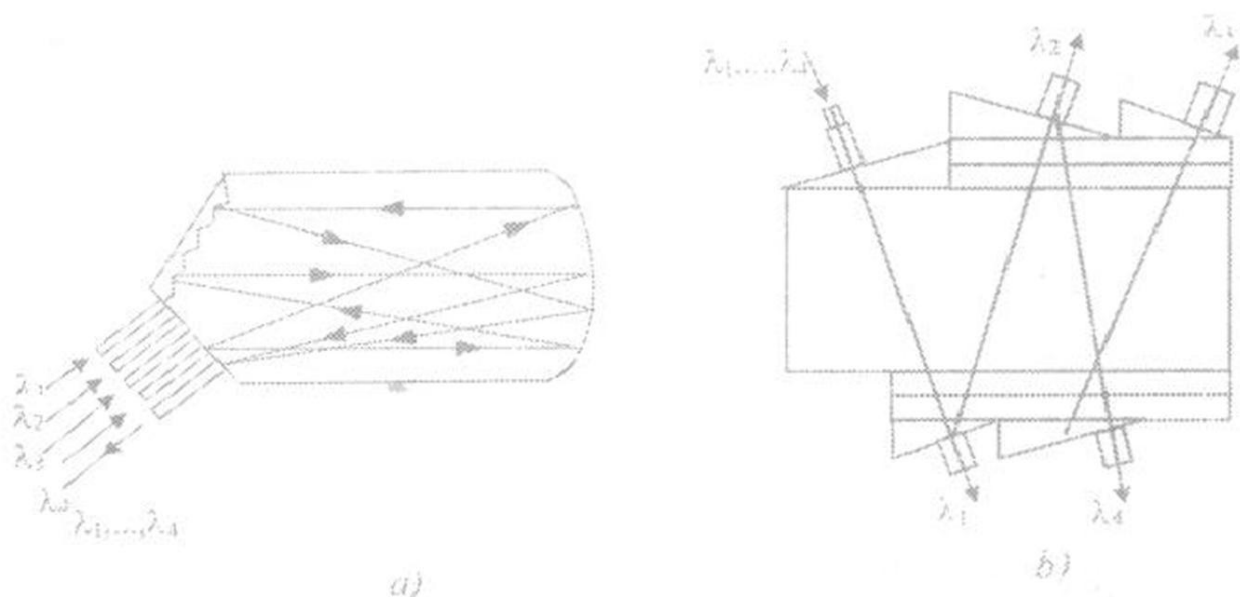
Spektr bo'yicha zichlashtirilgan TOAda so'nish va dispersiya qiymatlari kichik bir moddali optik tolalardan, quvvati yuqori lazer nurlanish manbalaridan foydalanish maqsadga muvofiqdir.

Foydalaniladigan bir moddali optik tola 1,5...1,6 mkm to'liq uzunligida ishlashi va kvarts shishasidan tayyorlangan bo'lishi kerak.

Optik multipleksor va demultipleksorlar spektral sezgir bo'lib, selektiv hisoblanadi, ya'ni ularning xarakteristikalarini optik to'liq uzunligiga bog'liq. Optik multipleksorlar optik kanallarni turli to'liq uzunliklarini birlashtirib, bitta optik tolaga kiritadi. Multipleksorlarga difraksion panjara, prizmalar, filtrlar tuq-lidir.

1.10- a rasmda difraksion panjarali planar to'rt kanalli multipleksorni va 1.10-b rasmda interferentsion filrli to'rt kanalli multipleksorni tuzilishi ko'rsatilgan.

Multipleksor va demultipleksorlarning ishi to'liq uzunligiga sezgir bo'lgan uch omilga asoslangan: burchak dispersiyasi, interferensiya va selektiv yutilishiga



1.10 - rasm. Multipleksorlar:

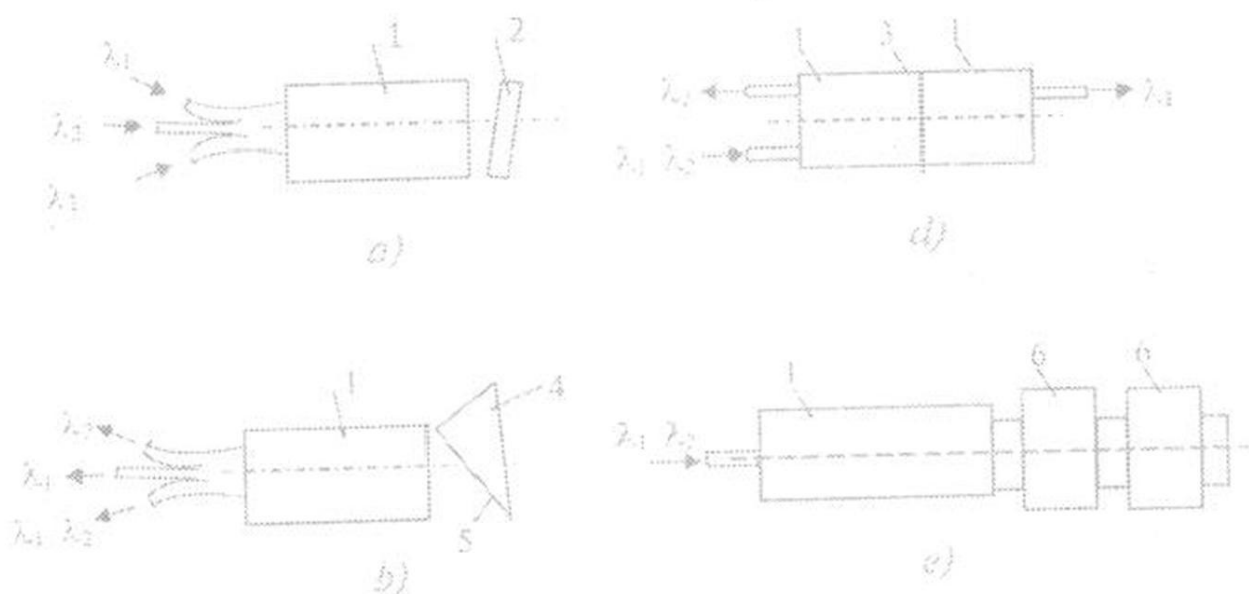
- a – planar to'rt kanalli difraksion panjarali multipleksor;
- b – to'rt kanalli interferentsion filrli multipleksor.

Demultipleksorlar bitta toladan kelayotgan optik signallar oqimidan turli to'liq uzunlikli optik kanallarni ajratish vazifasini bajaradi.

1.11 - a,b rasmlarda ko'rsatilgan demultipleksorlarda kanallarni ajratish uchun mos ravishda panjaraning burchak dispersiyasi va prizma ishlatilinishadi.

1.11 - d rasmda kanallar interferension filtrlar yordamida ajratib olinadi.

1.11 e rasmda esa demultipleksor sifatida qo'llaniladigan aniq to'liq uzunlikli yorug'likni yutuvchi tuzilish ko'rsatilgan [10].



1.11-rasm. Demultipleksorlar:

1 – gradiyent silindrik linza; 2 – difraksion panjara; 3 – xromatik filtr; 4 – prizma; 5 – aks ettiruvchi qoplama; 6 – selektiv fotodiodlar.

Har bir yorug'likni yutuvchi, ma'lum to'liq uzunligiga sezgir fotodiodlardan tashkil topgan. Panjara va prizmalı qurilmalar (1.11 - a,b rasm) kanallarni parallel ajratuvchi, filtrlar va selektiv fotodiodli qurilmalar (1.11d,e -rasm) esa kanallarni ketma-ket ajratuvchi hisoblanadi. Spektr bo'yicha zichlashtiriladigan tizimlar tarkibiga kiradigan demultipleksorlarning tuzilishi, nurni teskari yo'nalishda tarqalishida spektral-sezgir multipleksorlarning tuzilishiga o'xshash [4]. Multipleksor va demultipleksorlar signallarning

soʻnishiga sezilarli taʼsir qiladi. Shuning uchun ular optik kuchaytirgichlar bilan birgalikda qoʻllaniladi.

Nazorat savollari:

1. Optik signallarning qanday xususiyatlarini bilasiz?
2. Optik aloqaning qoʻllanish sohalari tushuntiring.
3. OA tizimlari elektrik tizimlardan qanday xususiyatlari bilan farqlanadi?
4. OA tizimlarining tuzilish printsipini tushuntiring.
5. TOA tizimlari qanday tuzilgan?
6. OA tizimlari qanday tasniflanadi?
7. Ikki tomonlama TOA tizimlarini tuzishning qanday usullarini bilasiz?
8. Ikki tolali, bir polosali, bir kabelli TOA tizimining tuzilish sxemasini tushuntiring.
9. Bir tolali, bir polosali, bir kabelli TOA tizimi qanday tuziladi?
10. Spektr boʻyicha ajratilgan TOA tizimlarning tuzilish sxemasi qanday tuzilgan?
11. TOA liniyalarining qanday asosiy zichlashtirish usullari bilasiz?
12. TOA liniyalarining vaqt boʻyicha zichlashtirish usulini tushuntiring.
13. TOA liniyalarining chastota boʻyicha zichlashtirish usulini tushuntiring.
14. Spektr boʻyicha zichlashtirish usulini tushuntiring.
15. TOA liniyalarini zichlashtirish usullaridan qaysi biri maksimal axborot sigʻimiga ega?

2. OPTIK TOLA UZATISH PARAMETRLARI

1.1. OPTIK YORUG'LIK UZATGICHLAR, ULARNING TURLARI. OPTIK TOLANING TUZILISHI

Tolali optik aloqa (TOA) tizimida optik tebranishlarning tarqalishini chegaralovchi va yorug'lik energiyasi oqimini berilgan yo'nalishda yo'naltiruvchi, uzatish va qabul qilish qismlarini bog'lab turuvchi muhit optik yorug'lik uzatgichlar deyiladi. Optik yorug'lik uzatgichlarning tavsiflari qisman aloqa tizimining sifatini aniqlaydi. Shuning uchun TOA tizimlarini loyihalashtirishda nurlanish tarqaladigan uzatuvchi muhit - optik yorug'lik uzatgichlarning tavsiflarini hisobga olish kerak.

TOA da maxsus optik yorug'lik uzatgichlar qo'llaniladi.

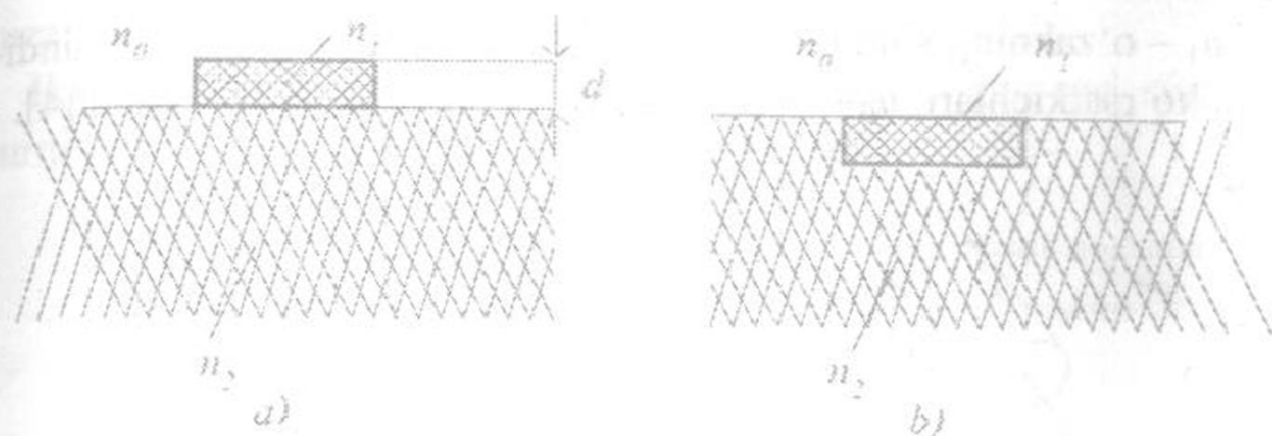
Kichik so'nish koeffitsiyentiga ega bo'lgan optik yorug'lik uzatgichlar asosida optik signallarni uzoq masofalarga uzatishni ta'minlovchi optik kabellar yaratilmoqda.

Optik yorug'lik uzatgichlar ikki turga bo'linadi: yassi optik yorug'lik uzatgichlar va yorug'lik uzatuvchi optik tolalar. Yassi optik yorug'lik uzatgichlar o'z navbatida plyonkali (2.1 - a rasm) va kanalliga (2.1, - b rasm) bo'linadi. Yorug'lik uzatuvchi optik tolalar esa bir qatlamli (2.2 - a rasm), ikki qatlamli (2.2, - b rasm), uch qatlamli (2.2 - d rasm) va h.k. bo'lishi mumkin [4].

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

bunda ϵ - μ mos ravishda nisbiy dielektrik va magnit o'tkazuvchanlik.

$n > n_0$ bo'lganda (n_0 – atrof muhitning sindirish ko'rsatkichi) nur chegaradan to'liq ichki qaytadi.



2.1-rasm. a) yassi optik yorug'lik uzatgichlar; b) optik yorug'lik uzatgichlarning sindirish ko'rsatkichi.

Yassi optik yorug'lik uzatgichlarda (2.1-rasm) to'liq ichki qaytish bo'lishi uchun $n_1 > n_2 \geq n_0$, shart bajarilishi kerak.

Bu yerda n_1 – plyonkaning sindirish ko'rsatkichi;

n_2 – taglikning sindirish ko'rsatkichi;

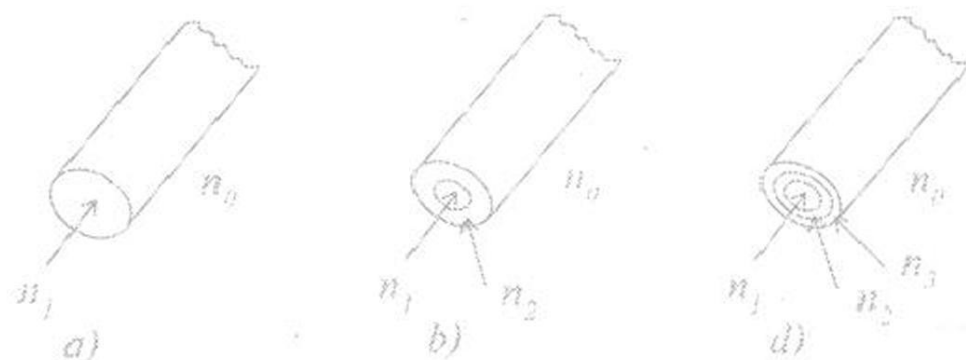
n_0 – tashqi muhitning sindirish ko'rsatkichi.

Plyonka qalinligini tanlab, uzatiladigan to'lqinlar sonini chegaralash mumkin. Bitta asosiy to'lqinni uzatish uchun plyonka qalinligi 0,1 mkm bo'lishi kerak. Bunday plyonkani tayyorlash murrakkabdir. Sindirish ko'rsatkichlarining nisbiy farqini kamaytirib, plyonkaning qalinligini, ya'ni diametrini oshirish mumkin. Ko'pgina optik qurilmalar: aktiv(generator, modulator, demodulator va b.q.) qurilmalar yassi optik yorug'lik uzatgichlarning qirqimlari asosida tayyorlanadi.

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 (2.2-rasm) $n_1 > n_2 > n_3 > n_0$, shart bajarilishi kerak. Mos ravishda bunda

n_1 – o'zakning sindirish ko'rsatkichi, n_2 , n_3 – qobiqlarning sindirish ko'rsatkichlari, n_0 – tashqi muhitning sindirish ko'rsatkichi [4].



2.2-rasm. Yorug'lik uzatuvchi optik tolalar.

OTning tarkibiy qismlari 2.3-rasmda tasvirlangan. O'zak va qobiq uchun asosiy material kvarts shishasi (SiO_2) hisoblanadi. Kerakli sindirish ko'rsatkichlarini olish uchun kvarts shishasiga bor, germaniy va shunga o'xshash boshqa qo'shimchalar qo'shiladi [6]. Tolani qo'shimcha qobiqlari himoya qobig'i hisoblanadi. 2.3-rasmda tashqi plastik qoplama ko'rsatilgan [6].

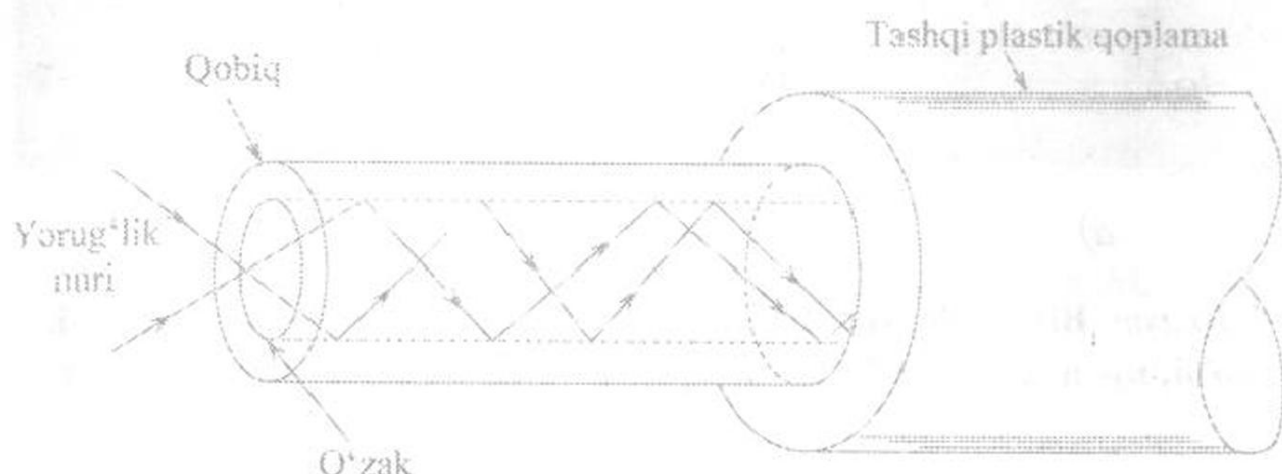
2.2. OPTIK TOLA BO'YLAB YORUG'LIK NURINING TARQALISH NAZARIYASI

Optik tolada yorug'lik nurini uzatish geometrik optika qonunlariga asoslangan.

Bu qonunlarga muvofiq yorug'lik nuri o'zak bo'ylab zigzaksimon liniyalar hosil qilib tarqaladi. O'zakning sindirish ko'rsatkichi n_1 qobiqning sindirish ko'rsatkichi n_2 dan katta bo'lishi sababli optik nur faqat o'zak bo'ylab tarqaladi. Bu nur sindirish ko'rsat-

kichik katta muhitdan sindirish ko'rsatkichi kichik muhitga o'tganda ikki muhit chegarasida singan nurni normal nurdan og'ishi bilan tushuntiriladi. Masalan, buni nur suvdan havoga o'tganda ham kuzatish mumkin.

Ikki muhit chegarasiga tushish burchagi θ_1 oshgan sari singan nurni normal nurdan og'ishi ham oshib boradi.



2.3-rasm. Optik tolaniing tuzilishi.

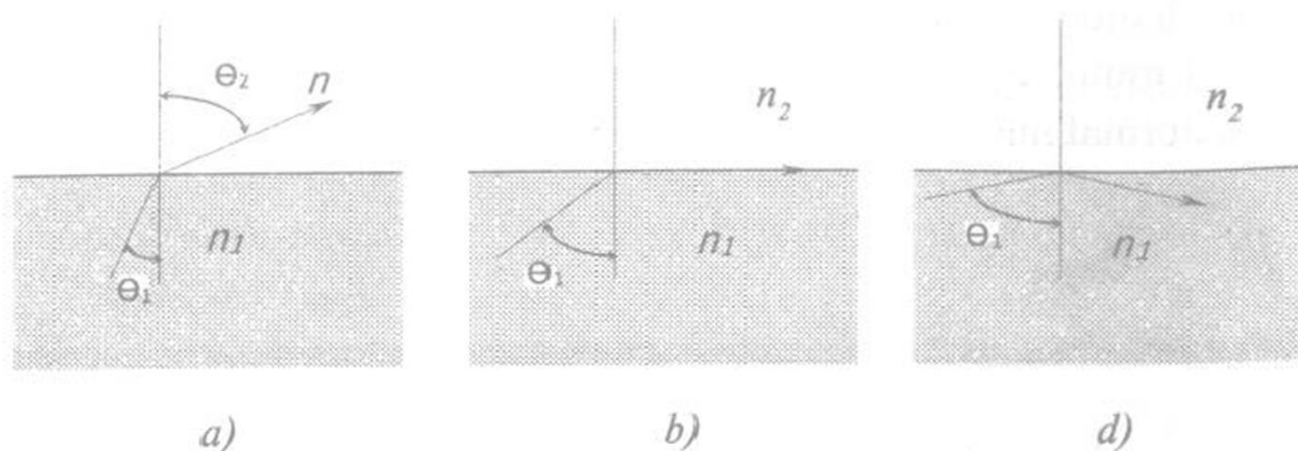
Normal nurga nisbatan singan nur burchagi θ_2 90° ga yetgach, singan nur chegara yuzasi bo'ylab tarqala boshlaydi. 2.4-rasm-da turli tushish burchaklarida nurning tarqalishi ko'rsatilgan. 2.4-a rasmda tushish burchagi θ_1 kichik bo'lganda singan nur to'liq qobiqqa o'tib ketadi. 2.4 - b rasmdagidek signal kritik burchak ostida tushganda singan nur chegara bo'ylab tarqaladi. 2.4- d rasmda tushish burchagi kritik tushish burchagidan oshganda to'liq ichki qaytish yuzaga kelishi tasvirlangan.

«O'zak-qobiq» chegarasida signal energiyasi to'liq qay-tadigan bu burchak to'liq ichki qaytish burchagi $\theta_{t.i.q.}$ deyiladi.

To'liq ichki qaytish burchagi quyidagicha aniqlanadi:

$$\theta_{T.I.Q} = \arcsin \frac{n_2}{n_1}, \quad (2.2)$$

bunda n_1 – o‘zakning sindirish ko‘rsatkichi; n_2 – qobiqning sindirish ko‘rsatkichi.



2.4-rasm. Bir necha tushish burchaklari uchun nurning tarqalish yo‘li, $n_1 > n_2$, bu yerda n_1 va n_2 ikki turli muhitlarning sindirish ko‘rsatkichlari.

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 tarqalishi ta‘minlanadi.

Uzatish uchun nur ma‘lum bir burchak ostida optik tolaga kiritiladi.

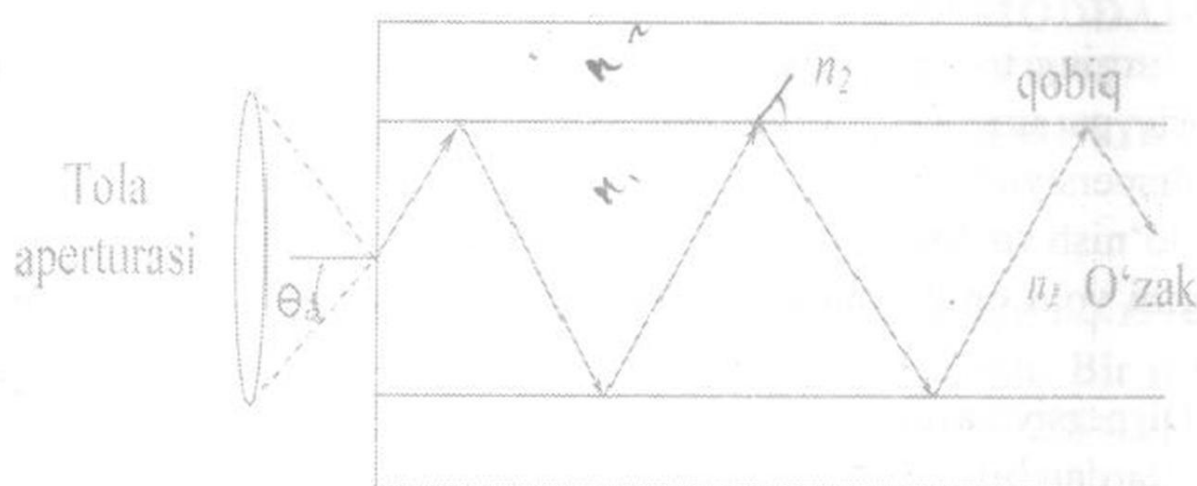
Yorug‘lik nurining tola o‘zagiga maksimal tushish burchagi burchak aperturasi θ_a deyiladi.

Burchak aperturasining sinusi sonli apertura deyiladi va NA harflari bilan belgilanadi (N – number-son, A – aperture-teshik). Sonli apertura quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$NA = \sin \theta_a = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (2.3)$$

Keltirilgan formuladan ko‘rinib turibdiki, optik tolaning sonli aperturasi NA faqatgina o‘zak va qobiqning n_1 va n_2 sindirish ko‘rsatkichlariga bog‘liq.

Bunda har doim $n_1 > n_2$ shart bajariladi (2.5-rasm) [7].



2.5-rasm. Optik tolada yorug'lik nurining tarqalishi.

Optik tolaning sonli aperturasi.

Optik tolada nurni tarqalish tezligi o'zakning sindirish ko'rsatkichlariga bog'liq bo'lib, quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$C_m = \frac{c}{n_1}, \quad (2.4)$$

bunda C -vakuumda nurning tarqalish tezligi; n_1 — o'zakning sindirish ko'rsatkichi.

O'zak materialining sindirish ko'rsatkichi 1,45 – 1,55 oraliqda yotadi [7].

Ma'lumki, to'lqin uzunligi uchun xarakterli bo'lgan optik tolaning yana bir xususiyati bu normallashtirilgan chastota n bo'lib, u quyidagicha aniqlanadi [6]:

$$v = n_1^2 - n_2^2 \cdot \frac{\sqrt{2\pi\alpha}}{\lambda}. \quad (2.5)$$

Bunda α -o'zak radiusi, n_2 – qobiqsiz optik tola uchun 1 ga teng [6].

Nurning tolada tarqalish jarayonini ta'riflash uchun bir necha asosiy parametrlar qo'llaniladi. Bu muhim parametrlarga so'nish va dispersiya kiradi.

So'nish va dispersiya oraliq punktlarsiz optik aloqa liniyasi uzunligini yoki oraliq punktlar orasidagi masofani qisqartirishi mumkin.

Dispersiya asosan ikki omil tufayli yuzaga keladi.

Ulardan biri material dispersiyasi, boshqasi-modda dispersiyasi.

Optik tola orqali tarqala oladigan, ruxsat etilgan yorug'lik to'lqinlari modalar (yoki shaxsiy to'lqinlar) deyiladi [7].

Material dispersiyasi material sindirish ko'rsatkichini chastotaga bog'liq holda o'zgarishi bilan hosil bo'ladi. Modda dispersiyasi tola orqali bir necha moddalarni uzatishdan hosil bo'ladi. Tola orqali turli moddalar turli faza va guruhli tezlikda uzatiladi, qabul qiluvchi punktlarga ham turli vaqtlarda yetib keladi. Natijada tola da turli moddalarni har xil kechikish bilan tarqalishidan buzilishlar (dispersiya) yuzaga keladi.

Moddalar sonini yorug'lik uzatgich optik tolaning tuzilishi va o'lchamini o'zgartirgan holda kamaytirish mumkin. 2.4-formuladan kelib chiqadigan bo'lsak, n_2/n_1 nisbatni amaliy mumkin bo'lgan xolda saqlab, o'zak radiusini kamaytirish yo'li orqali modalar sonini chegaralash mumkin.

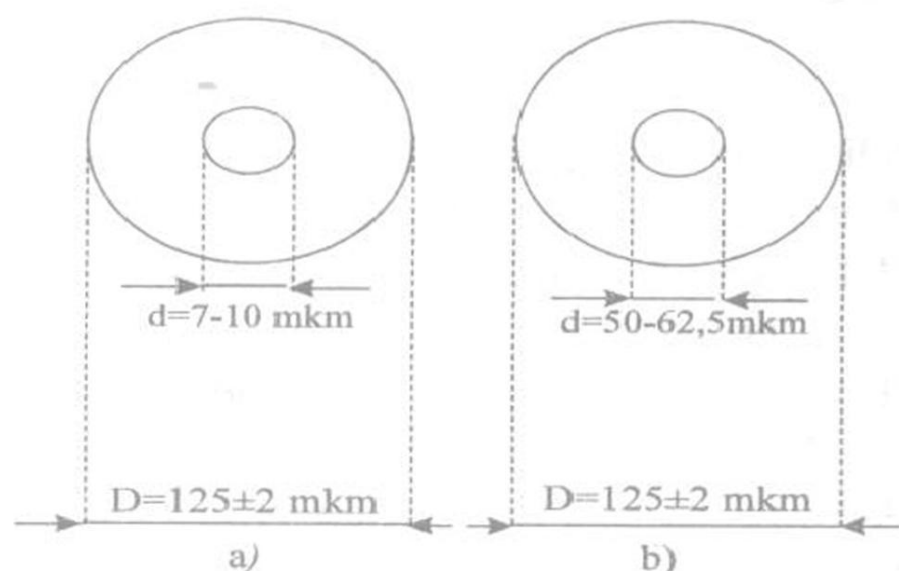
Chastota (n)ga bog'liq holda modalar soni:

$$N = \frac{v^2}{2}. \quad (2.6)$$

Agar, $v=2,405$ bo'lsa, u holda bitta modda uzatiladi. Agar $v>2,405$ bo'lsa, unda bittadan ortiq modda uzatilishi mumkin [6]. Uzatiladigan modalar soniga qarab optik tola bir moddali va ko'p moddaliga bo'linadi.

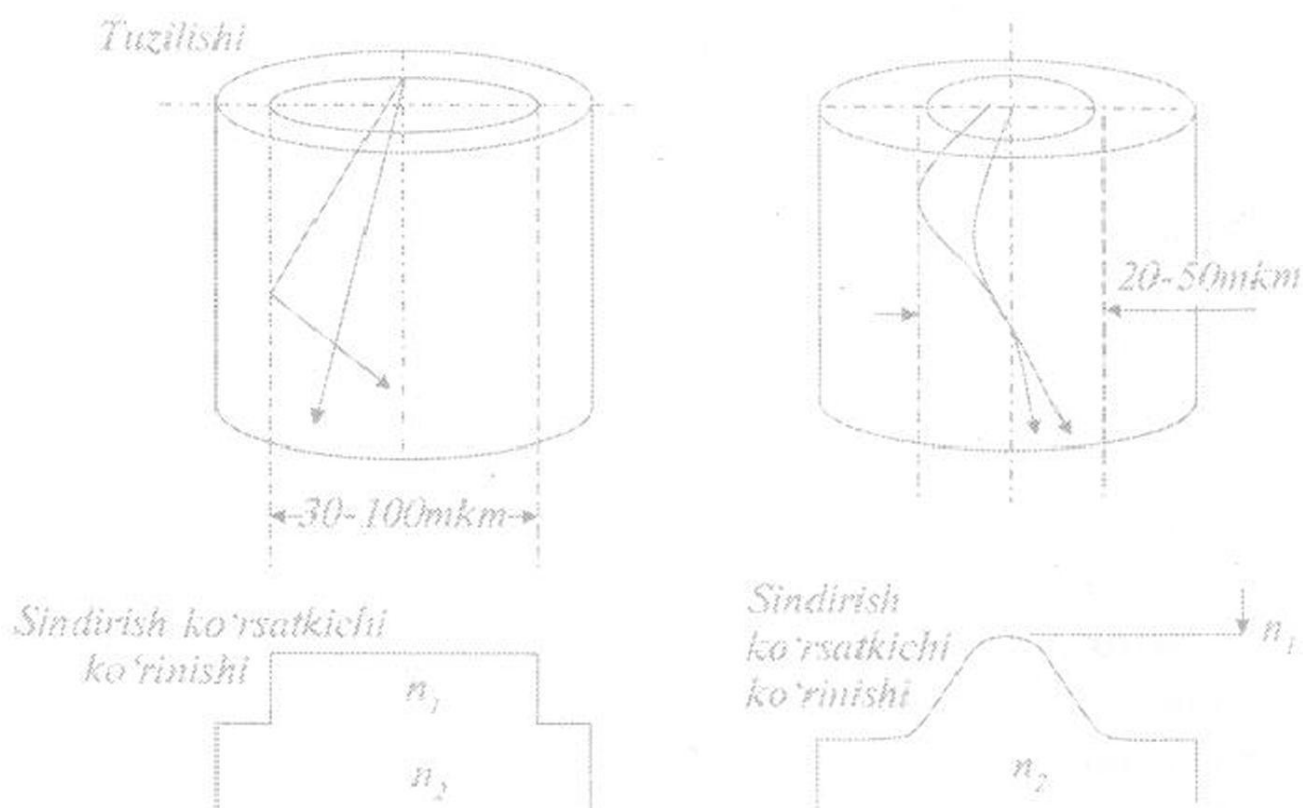
2.3. OPTIK TOLA TURLARI VA ULARNING TAVSIFLARI. BIR MODDALI VA KO'P MODDALI OPTIK TOLALAR. POG'ONALI, GRADIYENT VA MAXSUS SINDIRISH KO'RSATKICHLI OPTIK TOLALAR

To'liq uzunligiga nisbatan o'zak diametriga bog'liq ravishda optik tolalar bir moddali va ko'p modaliga bo'linadi. Bir modali optik tolalarda ko'pincha o'zak diametri 7 – 10 mkm (2.6 - a rasm), ko'p moddali optik tolalarda esa 50 – 62,5 mkm (2.6 - b rasm) bo'ladi[6]. Ikkala turda qobiq diametri 125 mkm ni tashkil etadi. Amaliyotda ko'p moddali va bir modali optik tola diametrlarining boshqa qiymatlari ham mavjud. Bir modali optik toladan faqat bir modda (yorug'lik tashuvchi) uzatiladi. Ko'p moddali optik toladan esa apertura burchagi doirasida tolaga turli burchaklar ostida kiritiladigan bir necha yuzlab ruxsat etilgan moddalarni bir vaqtda uzatish mumkin. Barcha ruxsat etilgan modalar turli tarqalish yo'li va vaqtiga ega.



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

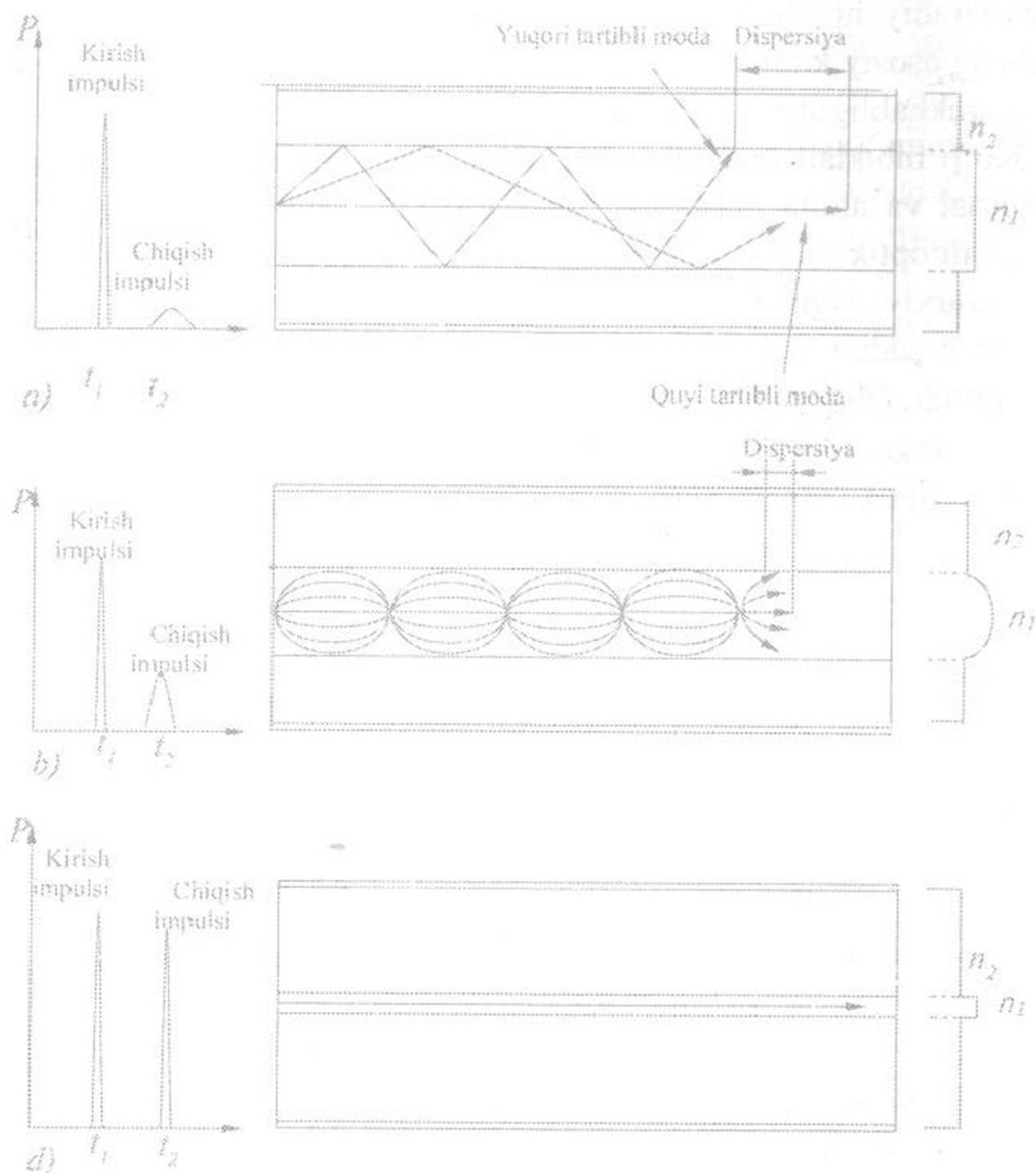
Ko'p moddali optik tolalar sindirish ko'rsatkichi n bo'yicha pog'onali (2.7 - a rasm) va gradiyent (2.7 - b rasm) tolalarga bo'linadi [6].



2.7-rasm va gradiyent (b) ko'p moddali optik tolalarning tuzilishi va sindirish ko'rsatkichi ko'rinishlari.

Pog'onali sindirish ko'rsatkichli ko'p moddali 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 chegalaydi, lekin gradiyent sindirish ko'rsatkichli optik tolalarga nisbatan arzon hisoblanadi. Gradiyent sindirish ko'rsatkichli ko'p moddali optik tolalar pog'onali sindirish ko'rsatkichli tolalarga qaraganda ravon sindirish ko'rsatkichiga va moddalararo dispersiyaning kamayishi bo'yicha yuqori texnik ko'rsatkichlarga ega. Chunki gradiyent sindirish ko'rsatkichli optik tolada modd-alarn-

ing tarqalish tezligi (dispersiyasi) bir-biridan juda ham kattaga farq qilmaydi.



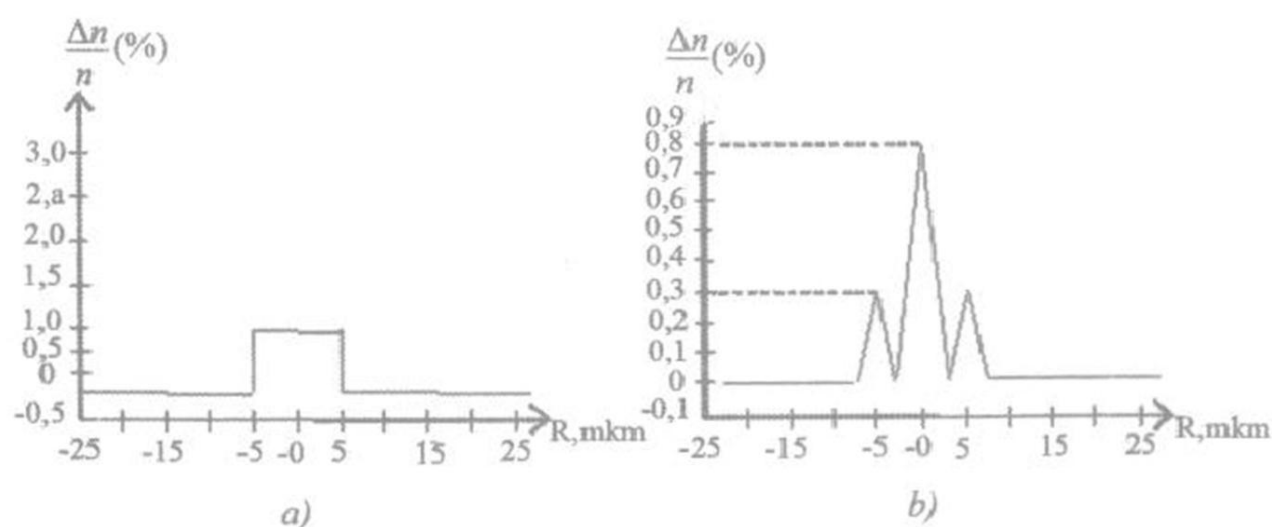
2.8-rasm. Turli optik tolalardan yorug'lik nurining tarqalishi vaularning sindirish ko'rsatkichlari ko'rinishlari.

a) ko'p moddali, pog'onali sindirish ko'rsatkichli optik tola; b) ko'p moddali, gradiyent sindirish ko'rsatkichli optik tola; d) bir moddali, pog'onali sindirish ko'rsatkichli optik tola.

Dispersiya impulslarning kengayib ketishiga, uzatilayotgan signallarning buzilishiga olib keladi. Shuning uchun hozirda gradiyent sindirish ko'rsatkichli ko'p moddali optik tolalar keng tarqalgan. Gradiyent sindirish ko'rsatkichli ko'p moddali optik tolalarning eng asosiy kamchiligi ularning qimmatligi va ishlab chiqarishni murakkabligidir.

Ko'p moddali optik tolalarda moddalararo dispersiya o'tkazish polosasi va aloqa masofasini chegaralaydi. Shuning uchun ko'p moddali optik tolalar asosan lokal tarmoqlarda va plezioxron raqamli ierarxiya signallarini uzatishda ishlatiladi.

Bir moddali optik tolalardan magistral aloqa tarmoqlarida foydalaniladi. Chunki bir moddali optik tolalarda signallar ko'p moddali rejimga qaraganda kam buzilish bilan uzatiladi. Turli tolalar bo'ylab optik signallarning tarqalishi 2.8-rasmda tasvirlangan



2.9-rasm. Bir moddali optik tolaning sindirish ko'rsatkichlari:

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

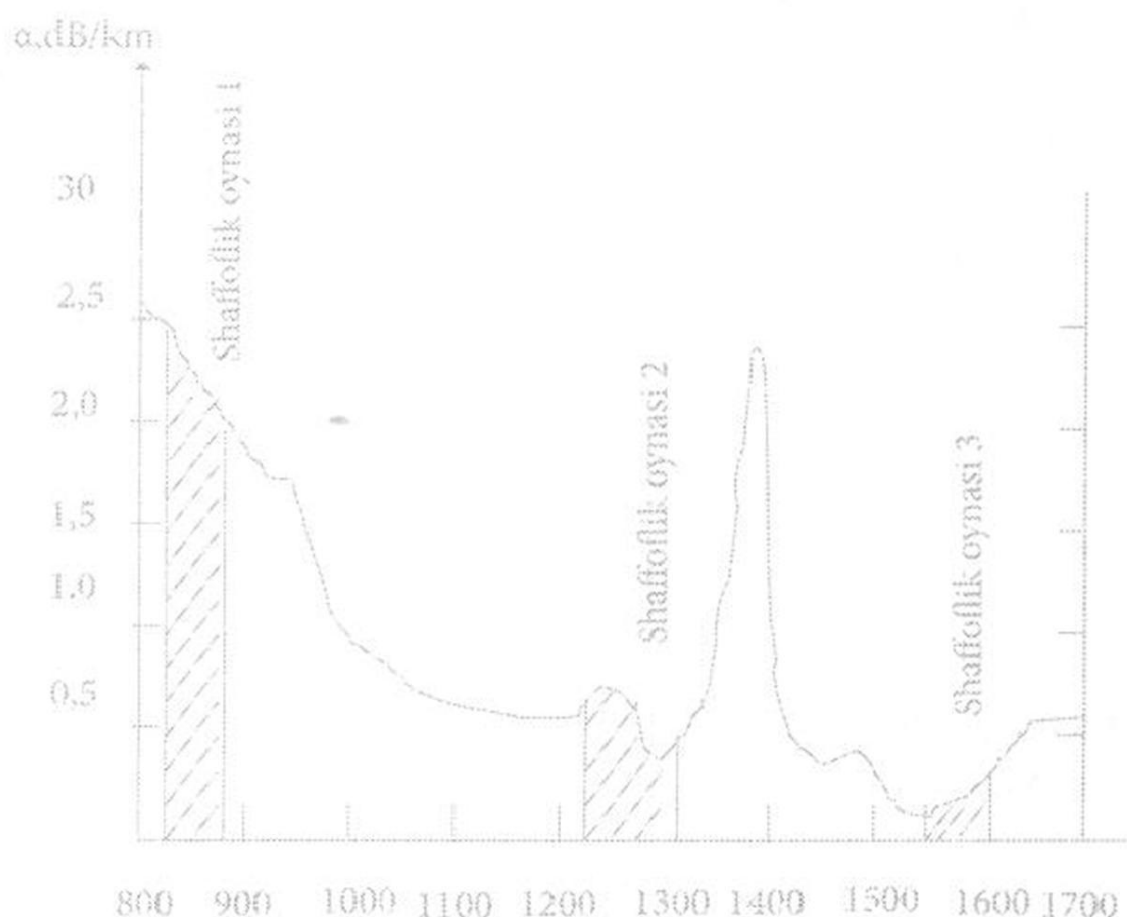
Bir moddali optik tolalarda moddalararo dispersiyaning yuzaga kelmasligi sababli ular yuqori o'tkazish qobiliyatiga ega. Biroq

uzatuvchi qismda birmuncha qimmat bo'lgan lazer diodlardan foydalanish talab etiladi.

Sindirish ko'rsatkichlariga qarab bir moddali optik tolalar pog'onali (to'g'riburchakli) va maxsus turdagi uch tishli, W ko'rinishdagi tolalarga bo'linadi (2.9-rasm).

Sindirish ko'rsatkichlari so'nishga bog'liq emas, ammo xromatik dispersiya ko'rsatkichlariga ta'sir qiladi. 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)[8].



2.10-rasm. To'lqin uzunligiga bog'liq ravishda optik tola so'nishining o'zgarishi.

Standart SF tolalari pog'onali sindirish ko'rsatkichiga ega. Statistik ma'lumotlarga ko'ra eng ko'p yotkazilgan 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 (3.10-rasm).

Dispersiya qiymati kichik bo'lgani uchun 1300 nm to'lqin uzunligi dispersiyasi nolga teng λ_0 to'lqin uzunligi deb ataladi.

So'nish qiymatlari kichik, ya'ni 0,2 – 0,25 dB/km ni tashkil etadigan 1500 nm da (3.10-rasm) dispersiya qiymatlarini ham kamaytirish maqsadida λ_0 to'lqin uzunligini 1550 nm ga siljitish orqali siljigan dispersiyali DSF tolalari ishlab chiqilgan [6].

DSF tolalarida $\lambda_0 = 1550$ nm to'lqin uzunligi nolinch 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 spektr (to'lqin) bo'yicha zichlashtirish usulini amalga oshirib bo'lmaydi.

Chunki, agarda 1550 nm to'lqin uzunligida spektr bo'yicha zichlashtirish usulini qo'llasak, bu to'lqin uzunligi atrofida parazit optik kanallar, ya'ni noxizizqli effektlar hosil bo'ladi.

Buni bartaraf etish va spektr bo'yicha zichlashtirish usulini qo'llash uchun nolinch λ_0 to'lqin uzunligini 1520 nm dan 1560 nm gacha surib, nolga teng bo'lmagan siljigan dispersiyali NZDSF tolalari hosil qilingan.

Nolinch dispersiyali to'lqin uzunligini surish maxsus turdagi W ko'rinishdagi sindirish ko'rsatkichlarini, sindirish ko'rsatkichlari turlicha bo'lgan ko'p qatlamli qobiqqa ega optik tolalarni qo'llash orqali hosil qilinadi.

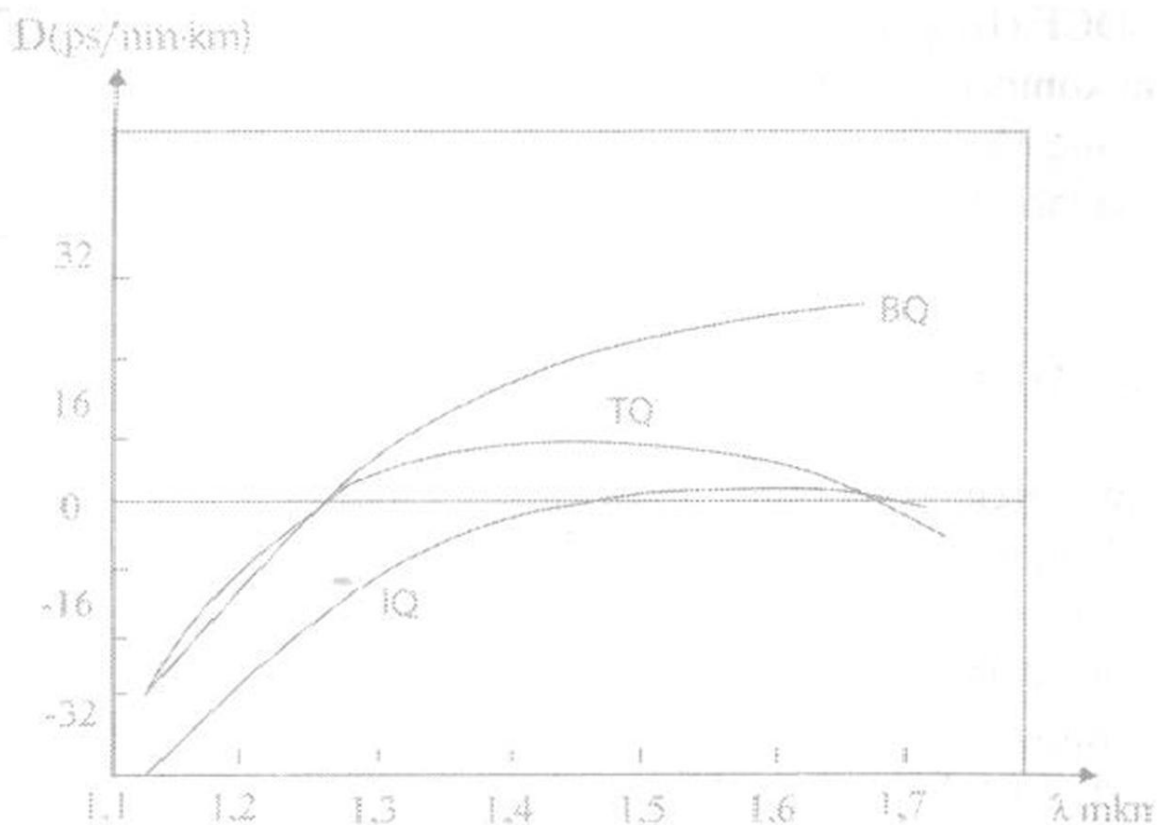
Ikki qatlamli qobiqlarni qo'llab DSF tolalari, to'rt qatlamli

qobiqlarni qo'llab, 1300 nm dan 1650 nm to'lqin uzunligida dispersiya qiymati $|D|=1-6$ ps/nm km bo'lgan NZDSF tolalari hosil qilinadi.

Dispersiyaning to'lqin uzunligiga va qobiqlar soniga bog'liqligi 2.11-rasmda tasvirlangan[8].

Hozirgi kunda "Corning", "Lucent Technologies", "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'lmasligi kerak [7].



2.11-rasm. Dispersiyaning to'lqin uzunligiga va qobiqlar soniga bog'liqligi:

BQ – bir qobiq; IQ – ikki qobiq; TQ – to'rt qobiq.

Hozirgi kunda "Corning" firmasi SMF-LS, LEAF, "Lucent Technologies" True Wave deb belgilangan NZDSF tolalarini ishlab chiqarmoqda. Dispersiya qiymati kichik bo'lganligi uchun bu

tolalar spektr (to'liqin) bo'yicha zichlashtirilgan uzatish tizimlarida qo'llaniladi.

Bir tashuvchili DSF - nolga teng bo'lgan siljigan dispersiyali tolalardan SDH (asosan STM-16 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 spektr 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 keyingi paragraflarda batafsil yoritilgan.

2.4. OPTIK TOLANING ASOSIY PARAMETRLARI

Optik signal tola orqali uzatilganda yorug'lik to'liqlarini tola muhiti bilan chiziqli va nochiziqli o'zaro ta'siri natijasida signal quvvatini yo'qolishidan optik signal so'nadi. So'nish tolali optik aloqa uzatish tizimlarining regeneratsiyalash uchastkasi uzunligini aniqlovchi, optik tolaning eng muhim parametri hisoblanadi. So'nish bu tolada yorug'lik oqimlarining kuchsizlanishidir. Tola uzunligi bo'yicha so'nishning o'zgarish qonuni quyidagi umumiy ko'rinishga ega:

$$P = P_0 \exp(-\alpha \cdot L), \quad (2.7)$$

bunda P_0 – tolaga kiritiladigan quvvat;

L – tola uzunligi;

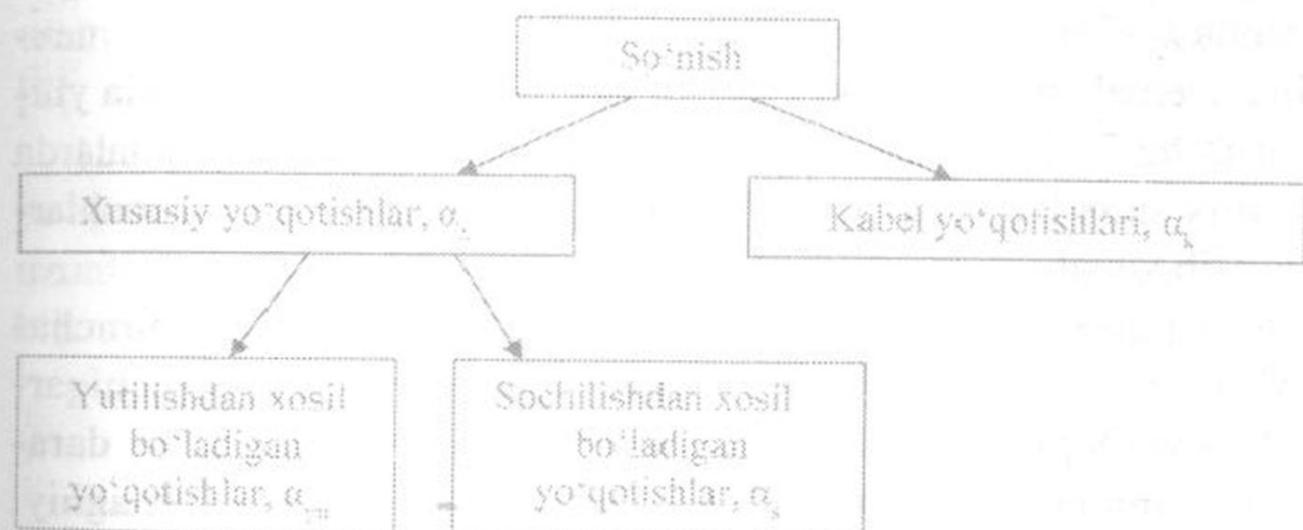
α - soʻnish koeffitsiyenti yoki toladagi yoʻqotishlar.

Bu formulani qoʻllab, solishtirma yoʻqotishlarni baholashimiz mumkin:

$$\alpha_{\text{solishtirma}} = (10/L) \cdot \lg(P/P) = 4,343\alpha. \quad (2.8)$$

Umumiy holda soʻnish signallarning sochilishi va yutilishi-dan hosil boʻluvchi yoʻqotishlar va kabel yoʻqotish-laridan yuzaga keladi.

Yutilish va sochilishdan hosil boʻladigan yoʻqotishlar xususiy yoʻqotishlar, kabel yoʻqotishlari esa qoʻshimcha yoʻqotishlar deyiladi.



2.12-rasm. Toladagi yoʻqotishlarning asosiy turlari.

Tola yoʻqotishlarini toʻliq ularning yigʻindisi koʻrinishida yozishimiz mumkin:

$$\alpha = \alpha_x + \alpha_k = \alpha_{yu} + \alpha_s + \alpha_k (dB/km). \quad (2.9)$$

2.5. TOLANING XUSUSIY YO'QOTISHLARI

Xususiy yo'qotishlarga yutilish va sochilishdan hosil bo'ladigan yo'qotishlar kiradi. Yutilishdan hosil bo'ladigan yop'qotishlar ichki va tashqi bo'ladi. Ichki yutilish yo'qotishlarini toza kremniy materiali xosil qilishi mumkin. Har bir material molekular tuzilishiga ko'ra ma'lum to'lqin uzunliklarida signallarni yutishi mumkin. Masalan, SiO_2 ni ultra binafsha 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 ko'rinadigan chastota diapazonida yutish polosasi ko'rinishida 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'likni tola qo'shimchalarida yutilishidan hosil bo'ladi. Zamonaviy ishlab chiqarish texnologiyalari bu yo'qotishlar ta'sirini juda kichik darajaga kamaytirgan. Bu yo'qotishlar temir, mis, nikel, magniy, xrom qo'shimchalarini tolaga qo'shish natijasida hosil bo'ladi. Zamonaviy ishlab chiqarish jarayonida bu metallarni 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 qoldiqlarini qolishi tashqi yutish yo'qotishlarini sezilarli darajada oshiradi. Optik tola tarkibida OH ionlari birni yuz milliondan kam qismini tashkil etish kerak.

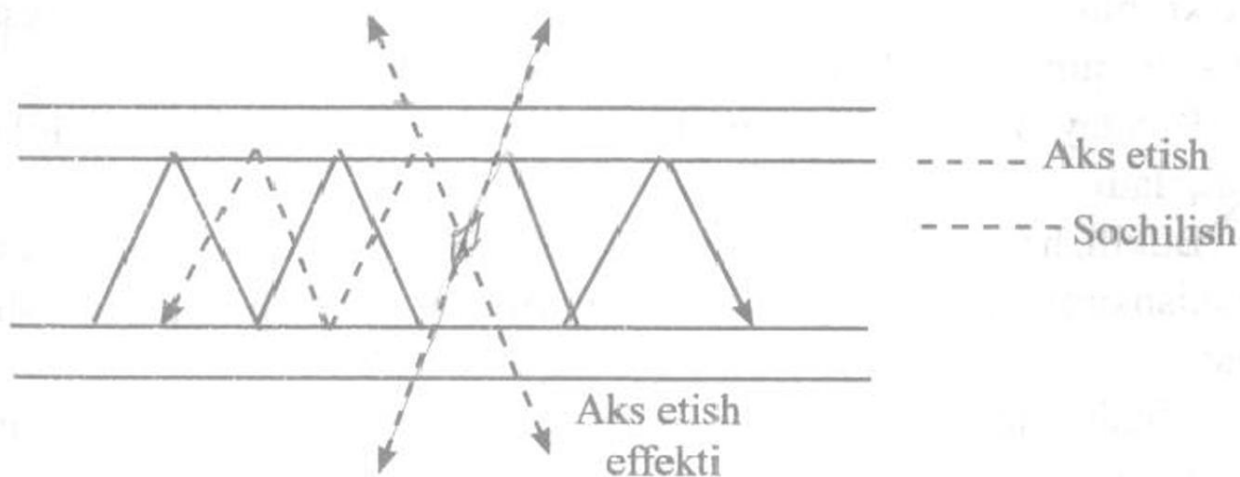
Zamonaviy optik tolalarda mikroqo'shimchalar miqdori juda kichikligi uchun tashqi yutilish shovqinlari minimal bo'lib, ular-

ni xisobga olmasa ham bo'radi. Lekin OH konsentratsiyasi birdan million qismni tashkil etganda, 1390 nm to'lqin uzunligida yo'qotishlar 50 dB bo'lishi mumkin.

Nurning sochilishidan hosil bo'ladigan yo'qotishlar ichki yo'qotishlar hisoblanib, optik tola o'zagining defektlari: havo puffakchalari, yoriqlar, tolani bir turda emasligi, ya'ni qo'shimchalar qo'shilishidan shisha zichligini 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 tolani bir turda emasligi, ya'ni qo'shimchalar mavjudligi yorug'lik oqimining ma'lum qismini teskari tomonga aks etishiga - teskari sochilishga olib keladi (2.13 - rasm) [7].

1550 nm to'lqin uzunligida Releevsk sochilishlari umumiy yo'qotishlarning asosiysi hisoblanadi. Releevsk sochilishi to'lqin uzunligiga teskari proporsional bo'lib, to'lqin uzunligi oshishi bilan yo'qotishlar kamayadi.



2.13 – rasm. Optik tolada yorug'likning sochilishi va aks etishi.

2.6. KABEL YO'QOTISHLARI

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

Mikrobukilishlar.

Mikrobukilish bu ishlab chiqarish jarayonida tola o'zagi geometriyasining mikroskopik o'zgarishi, ya'ni tolani mukammal emasligidir. Mikrobukilishlar ishlab chiqarish jarayonida tolaning yetarli tekis bo'lmagan tashqi himoya qoplamalari bilan qoplashi natijasida o'zakni o'qmarkazida joylashmasligi, o'qqa nisbatan qiyshiq joylashishidan yuzaga keladi. Mikrobukilishlar kabel yo'qotishlarini oshiradi. Bu yo'qotishlar juda katta bo'lishi va ba'zi hollarda 100 dB/km dan ham oshishi mumkin. Mikrobukilishlar 4.3 - b rasmda ko'rsatilgan.

Makrobukilishlar.

Minimal ruxsat etilgan radiusdan oshgan katta bukilishlarga makrobukilishlar deyiladi. Bir modali tolalarni bukishning ruxsat etilgan minimal radiusi 10 sm ni tashkil etadi.

Bunday bukilishda yorug'lik impulslari kuchsiz buzilish bilan tarqaladi.

Bukilish radiusining kamayishi, tolaning ruxsat etilgandan ortiqbukish optik impulslarni tola qobig'i orkali sochilish effektini oshiradi.

Ishlab chiqaruvchilar tomonidan kabelni minimal bukish radiusi ko'rsatilgan bo'lishi kerak. Kabel (katushka) g'altakka o'ralganda, albatta g'altak radiusi bo'yicha bukiladi. Kabel binolarda yotqizilganda, uni bino burchaklarida bukish kerak bo'ladi.

Kabelni yotqizuvchi bukish radiusini minial ruxsat etilgan qiymatdan kamaytirmasligi, ortiqcha bukmasligi kerak.

Tolali optik kabelni ruxsat etilgan chegaradan kuchli bukib,

kabelni yaroqsiz qilishi, hattoki kabelda tolalarning uzilishiga olib kelishi mumkin.

Makrobukilishlar 2.14 - a rasmda ko'rsatilgan[6].



2.14-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.

Payvandlashda, tolalarni ulashda yo'qotishlarga olib keladigan sabablar quyidagilar:

- tola o'zagining o'lchamlarini moslashmaganligi;
- tolaning sindirish ko'rsatkichlarini farqlanishi;
- tolalarni ulashda uzunasiga o'qlarning chatishmasligi;
- tolalarning burchak aperturalarini farqlanishi;
- tolalarni zich ulamaslikdan havo puffakchalarining hosil bo'lishi.

Bu omillarning barchasi so'nishni, 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 qobiqshishasida markazlashgan holda joylashishiga, ishlab chiqarilgan tolalarning diametrlarini bir xil bo'lishiga, tolaning shaxsiy bukilishlariga katta talablar qo'yiladi.

Optik tolaning to'liq so'nish ko'effitsiyentini aniqlash uchun yuqorida aytib o'tilgan barcha omillar hisobga olinishi kerak (2.15 - rasm) [7]



2.15-rasm. Optik signalni uzatish sifatiga tasir qiluvchi omillar.

Optik nurlanishni 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 parametrlariga, shuningdek to'lqin uzunligiga ham bog'liq. So'nishning to'lqin uzunligiga bog'liqligi nochiqli xarakterga ega bo'lib, bu bog'lanish grafi 2.10 – rasmda ko'rsatilgan edi. So'nish ko'effitsiyenti to'lqin uzunligiga bog'liq bo'lib, turli to'lqin uzunliklari uchun so'nish qiymati 2.1-jadvalda berilgan.

2.1 - 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 $0,8 - 0,9$ mkm to'liqin uzunligi keng polosali yorug'lik nurlanish manbalari va qisqa to'liqinli lazerdan foydalanib, signallarni yaqin masofalarga uzatishda qo'llaniladi.

Ikkinchi shaffoflik oynasining $1,28-1,33$ mkm to'liqin uzunliklari telekommunikatsiyada ko'p qo'llaniladi. Bu oyna nisbatan kam so'nish koeffitsiyentiga ega bo'lib, bu diapazonda signallarni uzatish uchun keng polosali optik nurlanish manbalari ishlatiladi.

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

Uchinchi oyna $1,525 - 1,575$ mkm oralig'ida bo'lib, bu oynaning asosiy afzalligi so'nish koeffitsiyentining minimalligi hisoblanadi.

Biroq yuqori tezlikli tizimlarni oqimlarini uzatishda dispersiya qiymati oshib ketadi.

Dispersiya qiymatini kamaytirish uchun dispersiyani kompensatsiya qiluvchi qurilmalarni qo'llanilishi talab etiladi, bu esa tolali optik aloqa tizimlarining narxini oshiradi [7].

2.7. DISPERSIYA

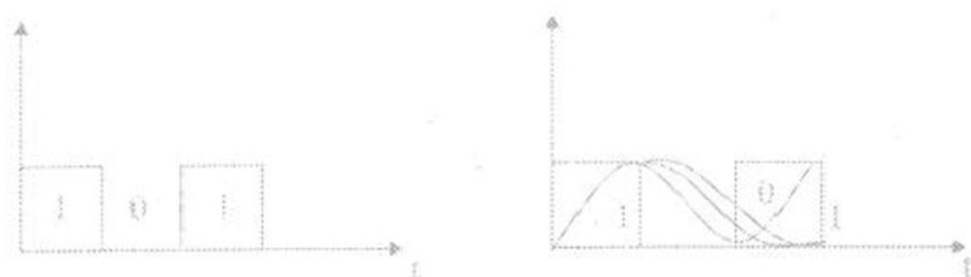
Optik tolada signallarni uzatish sifatiga ta'sir qiluvchi eng muhim omillardan biri dispersiya hisoblanadi.

Dispersiya bu yorug'lik impulslari oxirlarining cho'zilishi, ya'ni impulslarni kengayishidir.

Impulslar kengayib, bir birini qoplaydi, simvollararo buzilishlar yuzaga keladi va qabul qilishda impulslar ketma-ketligidan uzatilgan foydali informatsiyani ajratib bo'lmay qoladi (2.16-rasm).

Dispersiya o'tkazish qobiliyatini kamaytirib, optik tizimlarni ish tezligini chegaralaydi. Dispersiya— impulslarni kengayishi, L uzunlikli kabelni kirish va chiqishidagi impulslar davomiyligining kvadratik farqi sifatida quyidagi formuladan aniqlanadi:

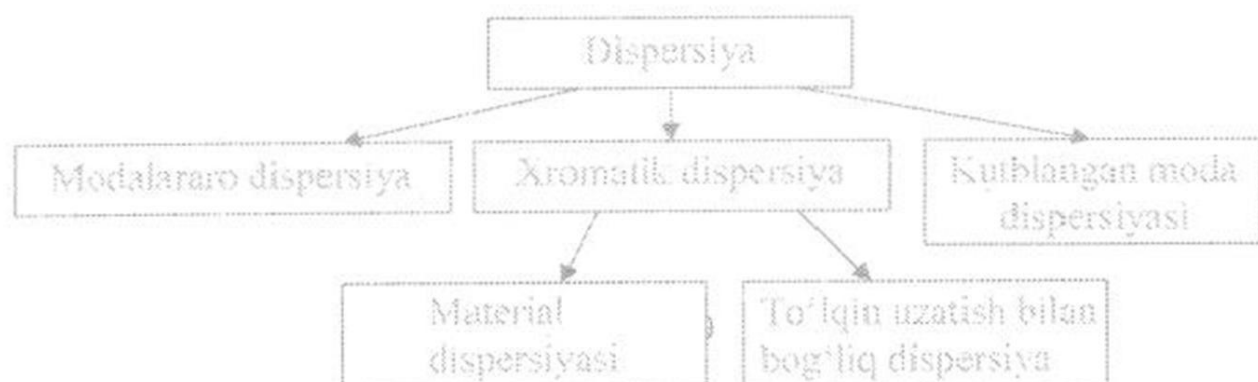
$$\tau(L) = \sqrt{t_{chiq}^2 - t_{kir}^2} \quad (2.10)$$



2.16 –rasm. Optik tolada impulslarning kengayishi.

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

Dispersiyaning quyidagi turlari mavjud (2.17-rasm).

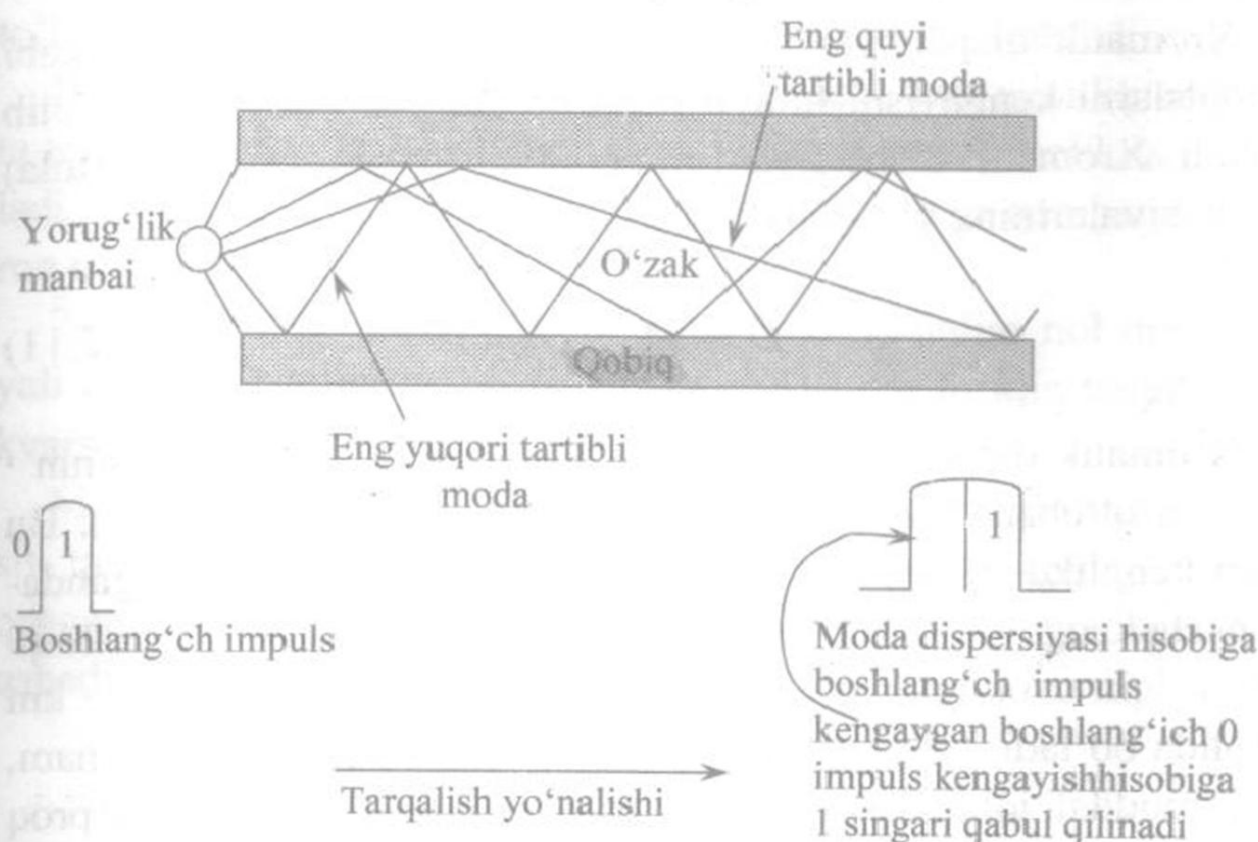


2.17- rasm. Dispersiya turlari.

2.7.1. Modalararo dispersiya

Modalararo dispersiya tola bo'ylab modalarni turli yo'nalishlarda turli vaqtda tarqalishi bilan bog'liq. Ko'p moddali tolaga sonli apertura burchagi chegarasida bir necha ruxsat etilgan moddalar kiritilishi mumkin.

Ularining hammasi turli yoʻnalishlarda tarqaladi va uzatuvchi manbadan qabul qilgichga turli vaqtlarda yetib keladi. 2.18-rasmda quyi tartibli modda 2 ta qaytishga ega boʻlsa, yuqori tartibli moda tolaning shu kesimida 7 ta qaytishga ega



2.18-rasm. Koʻp moddali optik tola kesimida yorugʻlik manbaidan berilayotgan uchta moddaning tarqalishi koʻrsatilgan (ideallashtirilgan rasm).

Natijada yuqori tartibli modda energiyasi quyi tartibli moda energiyasiga qaraganda kechikadi.

Qabul qilingan impulslar yigʻindisida bir impulsni qoʻshni impuls intervaliga tushishidan qoʻshni impuls xato qabul qilinadi.

Modalararo dispersiya koʻp modali uzatish tizimlarining kamchiligi hisoblanadi.

Bu turdagi dispersiya buzilishlarini bir modali tolalarni qoʻllash orqali bartaraf etish mumkin.

Chunki undan faqat bitta asosiy modda uzatiladi.

2.7.2. Xromatik dispersiya

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

$$D_x = D_m + D_l. \quad (2.11)$$

Xromatik dispersiya pikosekund/nanometr · kilometr (ps/nm · km) da o'lchanadi. ($1 \text{ ps} = 1 \cdot 10^{-12} \text{ s}$, $1 \text{ nm} = 1 \cdot 10^{-9} \text{ m}$). Bu 1nm kenglikdagi impulsni 1km 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 moddali tolalarga ham, ko'p moddali tolalarga ham xos. Lekin bir modali tolalarda ko'proq namoyon bo'ladi.

2.7.3. Material dispersiyasi

Material dispersiyasi to'lqin uzunligini tola materialining sindirish ko'rsatkichiga bog'liqligi bilan aniqlanadi. Natijada tola material orqali turli to'lqin uzunliklari turli tezliklarda uzatiladi. Sindirish ko'rsatkichini aniqlash formulasi:

$$n = c / c_{sh}, \quad (2.12)$$

bunda C —yorug'likning vakuumdagi tezligi, C_{sh} — to'lqinning tola materialidagi tezligi.

Optik tola asosan kvarts shishasidan (SiO_2) ishlab chiqariladi. Har bir to'ldin tola materialidan turli tezliklarda uzatiladi.

1-shaffoflik oynasida katta to'ldin uzunliklari katta tezlikda, qisqa to'ldin uzunliklari kichik tezliklarda uzatiladi. Masalan, 865 nm to'ldin uzunligi 835 nm ga nisbatan katta tezlikda uzatiladi.

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

2-shaffoflik oynasining 1310 nm to'ldin uzunligi nol dispersiyali to'ldin uzunligi deyiladi. Chunki 1310 nm to'ldin uzunligida kvarts shishasining sindirish ko'rsatkichi minimal.

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

2.7.4. To'ldin uzatish bilan bog'liq dispersiya

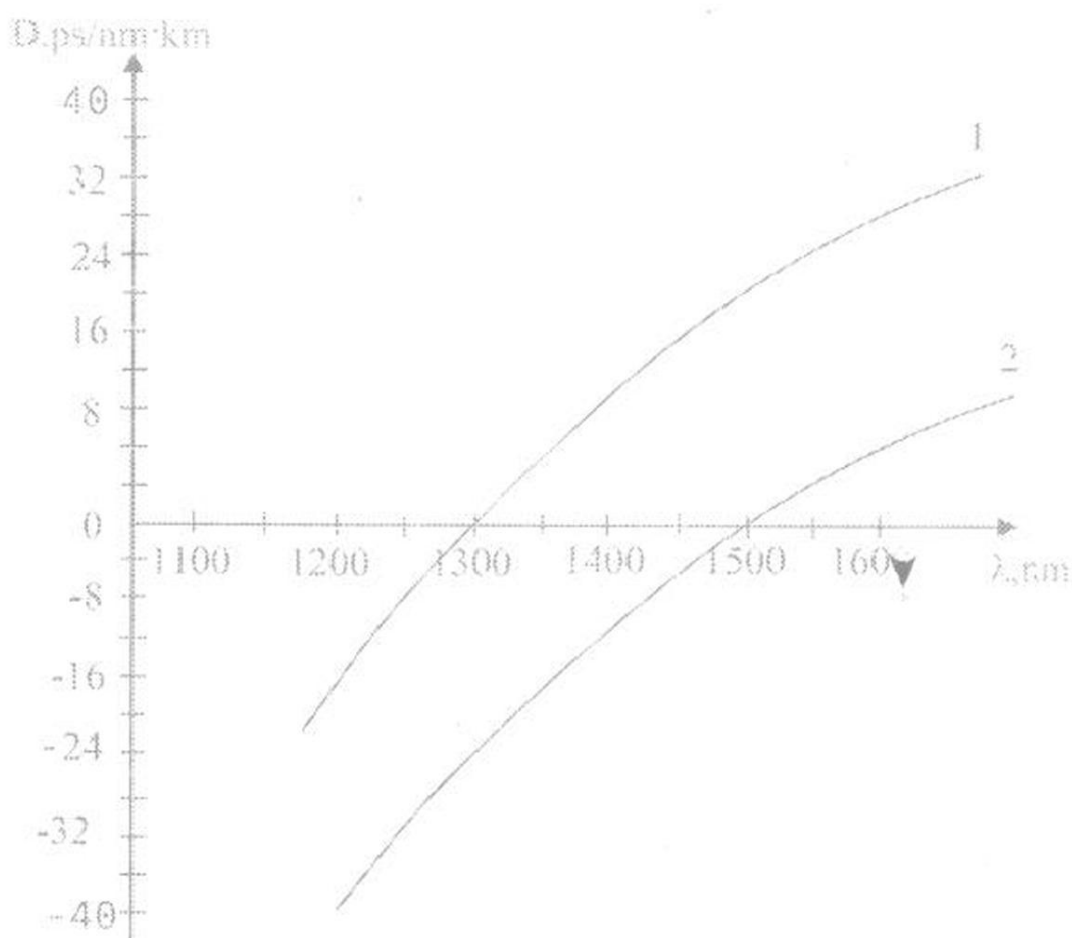
To'ldin uzatish bilan bog'liq (tola) dispersiya – bu impulsning tarqalish tezligini to'ldin uzunligiga bog'liqligidir. Dispersiyaning bu turi tolaning geometrik formasiga va sindirish ko'rsatkichlarining profiliga bog'liq.

Har qanday real nurlanish manbalari ma'lum chastota polosasida to'ldin uzunliklarini nurlantiradi desak, turli to'ldin uzunligiga ega yorug'lik impulsleri toladan turli vaqt bo'yicha kechikib keladi. Natijada boshlang'ich impulsler buziladi. Signallarining turli to'ldin uzunligida turli tezliklarda uzatilishi yuqorida keltirilgan edi.

Shuningdek, yuqorida aytib o'tilgandek 1310 nm to'ldin uzunligida dispersiya qiymati minimal bo'lib, nolga teng.

Dispersiyaning nol qiymati soʻnsh qiymatlari kichik boʻlgan 3-tiniqlik oynasiga surilgan. Bu kvars shishasini ligerlash yordamida amalga oshiriladi. Bunday tolalar siljigan dispersiyali tolalar deyiladi.

Bu tolalardan yuqori tezlikli tizimlarda, shunigdek oraliq punktlar soni kam boʻlgan signallarni uzoq masofalarga uzatishda qoʻllaniladi. 2.19-rasmda turli tolalar uchun xromatik dispersiya qiymatlarini toʻlqin uzunligiga bogʻliqligi keltirilgan [7].



2.19 – rasm. Xromatik dispersiyani toʻlqin uzunligiga bogʻliqligi:

1 – toza kvars shishasining xromatik dispersiya xarakteristikasi; 2 – siljigan dispersiyali tolaning xromatik dispersiya xarakteristikasi.

Uzatish liniyasining xromatik dispersiya qiymati quyidagilarga sezgir tandem bogʻlanishlar sonini va uzatish liniyasi uzunligini oshishiga;

– uzatish tezligini oshishiga.

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

- kanallar orasida qadamning kamayishi;
- kanallar sonini oshishi.

Xromatik dispersiyani kamaytirish uchun dispersiyani kompensatsiyalash usullaridan foydalaniladi.

2.7.5. Qutblangan modda dispersiyasi

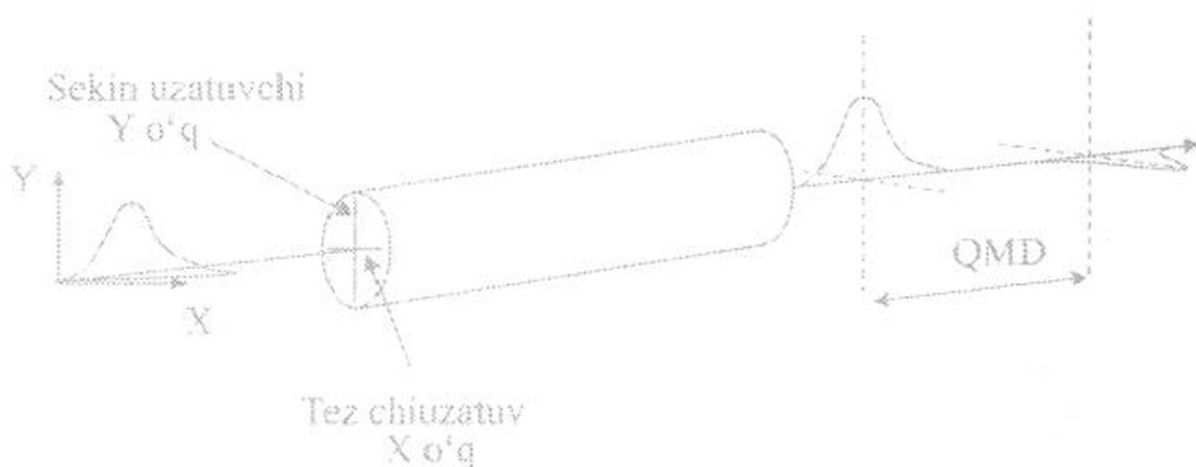
Bir modali optik tolalarda asosan bitta asosiy modda uzatiladi.

Biroq, qutblanishni hisobga olsak, bir moddali tolalarda ikkita modda uzatiladi.

Ular boshlang‘ich asosiy modaning o‘zaro perpendikular qutblangan ikki tashkil etuvchilaridir.

Bu tashkil etuvchilaridan biri dominant hisoblanib, gorizontal X o‘qi bo‘ylab, ikkinchisi vertikal yuzadan Y o‘qi bo‘ylab tarqaladi.

X o‘qidan uzatilgan modda Y o‘qidan uzatilgan moddaga nisbatan tez yetib borgani uchun o‘qini “tez uzatadigan o‘q”, Y o‘qini “sekin uzatadigan o‘q” deyiladi (2.20-rasm) [7].



2.20 - rasm. Qutblangan modda dispersiyasining hosil bo‘lishi.

Signal ideal aniq geometriyaga ega toladan uzatilganda edi, modalar qabul qiluvchi punktga bir xil tezlikda, bir xil vaqtda yetib borardi.

Lekin, amaliyotda tolaning geometrik noidealligi, shuningdek turli mexanik va optik omillar tufayli sindirish ko'rsatkichlarining assimetriyasini yuzaga kelishi sababli ikki o'zaro perpendikular qutblangan moddalar vaqt bo'yicha turlicha kechikishi natijasida turli tezliklarda tarqaladi.

Tola chiqishida boshlang'ich signalni asosiy moddasi buzilgan holda yetib keladi.

Ikki o'zaro perpendikular qutblangan tashkil etuvchi moddalarni turli tezliklarda tarqalishidan boshlang'ich signalni buzilgan holdda qabul qilinishi qutblangan modda dispersiyasi (QMD) hisoblanadi.

Qutblangan moda dispersiyasi (QMD)ni hosil bo'lishiga asosiy sabab bu tola o'zagining geometriyasini buzilishi, noidealligidir.

Tola o'zagining noidealligi (ovalligining buzilishi), tola geometriyasining o'zgarishi ishlab chiqarish yoki foydalanish jarayonlarida yuzaga keladi.

Shuningdek, qutblangan modda dispersiyasining hosil bo'lishiga olib keladigan tola geometriyasining o'zgarishiga tolani buki-lishlari, tolani jo'natish uchun maxsus g'altaklarga o'rash, so'ng uni yotkazishdagi mexanik harakatlar ham ta'sir qiladi.

Bu harakatlar tola deformatsiyasiga olib keladi va tolaning profilini yoki o'zakning qobiq markazida joylashuvini buzadi.

Qutblangan modda dispersiyasi pikosekund (ps) da o'lchanadi.

Tola defektlarining qo'shilishi va qutblangan modda dispersiyasi bilan o'zaro ta'sirda bo'lishi natijasida seksiyadan seksiyagacha signal yetib borguncha qutblangan modda dispersiyasi oshib boradi.

Tolani xarakterlovchi bunday holdagi qutblangan modda dispersiyasi $\text{ps/nm}^{-1/2}$ da o'lchanadi.

Bir necha seksiyalardan iborat trassa uchun har bir uchastkalarga mos keluvchi qutblangan modda dispersiyalarining o'rtacha kvadratik yig'indisini qo'llash kerak.

Tolali optik aloqa tizimlariga qutblangan modda dispersiyasining ta'siri ushbu hollarda oshadi:

- kanalda uzatish tezligi oshganda;
- regeneratorlar orasidagi masofa uzaytirilganda;
- kanallar soni oshganda (DWDM)- zich spektr bo'yicha zichlashtirilgan texnologiya qo'llanilganda.

Tolani ishlab chiqarish jarayonini qat'iy nazoratga olish bilangi-na qutblangan modda dispersiyasi qiymatini kamaytirish mumkin.

2.8. DISPERSIYANI KAMAYTIRISH USULLARI

Dispersiyasi qiymatlari minimal bo'lgan DSF, NZDSF tolalari-ni qo'llash dispersiyaning kamaytirish usullaridan biridir.

Lekin, yuqorida aytib o'tganimizdek, eng ko'p foydalaniladigan bu SF - standart tolalaridir.

SF tolalarida xromatik dispersiya katta bo'lgani uchun bu tolalar qo'llanilganda DSF (Dispersion Compensating Fibter) 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, spektr bo'yicha zichlashtirish usulida qo'llaniladi. DSF tolalarida dispersiya qiymati manfiy bo'lib, katta qiymatlarga ega bo'ladi. Xromatik dispersiyasi musbat ishchi tolaga dispersiyasi manfiy

DSF tolalarini ulash natijasida dispersiya nolga yaqinlashadi, ya'ni kompensatsiya qilinadi (2.21-rasm). DSF tolalari "Corning", "Lucent Technologies", "Sumitomo Electric" kompaniyalari tomonidan ishlab chiqarilmoqda.

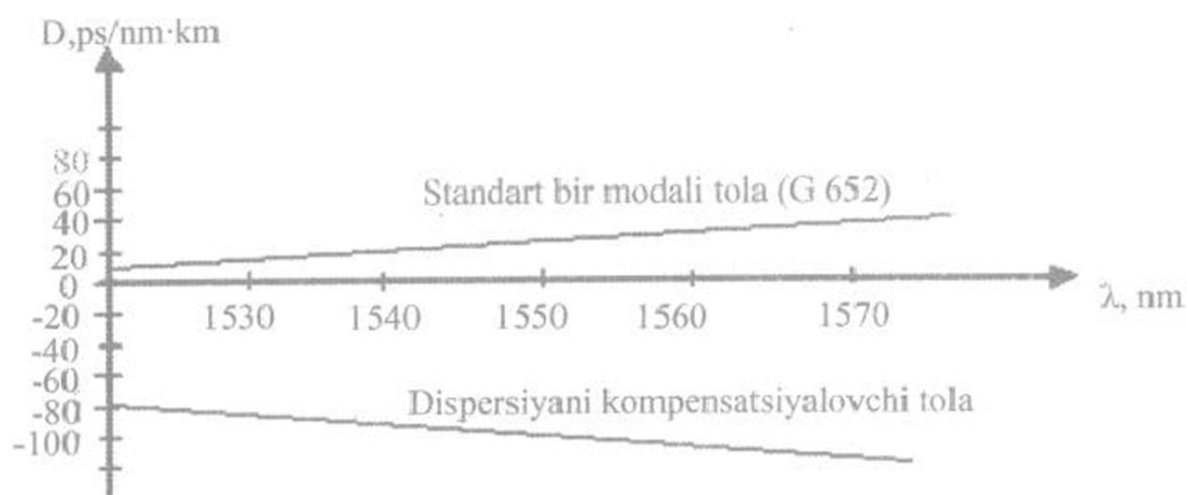
DSF tolalarini qo'llash bir qancha muammolarni tug'diradi:

- 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, so‘nishlar $\lambda = 0,4 - 1,0$ dB/km bo‘lib, uzatish liniyasining umumiy yo‘qotishlariga qo‘shiladi;

– 10 – 12 km ishchi tolaning dispersiyasini kompensatsiyalash uchun 1 km atrofida DSF tolalari talab etiladi;

– nochiziqli effektlarning oshishiga olib keladi.



2.21 - rasm. **DSM moduli yordamida dispersiyani kompensatsiyalash**

Kompensatsiyalash samarali bo‘lishi uchun, ishchi tolaning umumiy dispersiya qiymatini va DSF tolasini dispersiya parametrlarini o‘lchash kerak.

Kamchiliklarni yo‘qotish maqsadida DSF tolalari maxsus modullarga joylashtirilib, ular uzatish tizimlarining ustunlariga yoki optik kuchaytirgichlarning 1 va 2 kaskadlari orasiga qo‘yiladi.

Bu dispersiyani kompensatsiyalovchi modullar DCM (Dispersion Compensating Module) deyiladi. Dispersiyani kompensatsiya qiluvchi modullarning DCM o‘lchamlari har xil bo‘lishi mumkin. Masalan, “Corning” B turdagi modullari 235x235x40 mm, D tur-

dagi 267x267x40 mm, C turdagi 278x432x44mm, "Sumitomo" firmasining 228x202x41 mm. Lekin bunda ham kamchiliklar mavjud:

- qo‘shimcha yo‘qotishga olib keladi;
- qutblangan modda dispersiyasi QMD qiymati oshib ketadi.

WDM tizimlarida va yuqori tezlikli tizimlarda QMD qutblangan modda dispersiyasi 0,1–0,2 ps/km^{1/2} dan oshmasligi kerak.

DCM modullari qo‘llanganda yuqoridagi kamchiliklarni e‘tiborga olish zarur.

2.9. TOLALI OPTIK KABELLAR

Vazifasiga ko‘ra optik kabellar (OK) magistral, hududiy va shahar kabellariga bo‘linadi. Yotqazish sharoitlariga bog‘liq holda stansiya va liniya OKlari telefon kanalizatsiyasi kanallarida, gruntida, suv ostida yotqaziladigan; ustunlarga osiladigan turlarga bo‘linadi.

Tolalarning tuzilishiga ko‘ra monotolali va jgutli OK ga bo‘linadi. Aloqa texnikasida faqat monotolali OK qo‘llaniladi. Optik tolani tayyorlash uchun ishlatilingan materialga bog‘liq holda, «kvars-kvars» (OTni o‘zak va qobig‘i kvartsdan tayyorlangan) va «kvars-polimer» (OT o‘zagi kvarsdan, qobiq esa polimerdan tayyorlangan) turdagi OK bo‘lishi mumkin. Liniya kabellari uchun faqat «kvarts-kvarts» turdagi OT qo‘llaniladi. OT ni birlamchi mustahkamlovchi himoya qoplama materialiga bog‘liq holda, polietilen, poliamid, selikon, epitaloksial va epoksia-krilat qoplamali kabellarga bo‘linadi. Liniya OK 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 OK ga bo‘linadi.

2.10. OPTIK NURLANISH MANBALARIGA QO'YILADIGAN TALABLAR

OA tizimlari nurlanish manbalariga qo'yiladigan umumiy talablar quyidagilar:

- nurlanish manbasining to'liq uzunligi optik tolalarning yo'qotishlarining minimum spektral taqsimlanishlaridan biriga to'g'ri kelishi kerak;

- manba tuzilishi chiqishda bir muncha yuqori quvvatli optik signallarning nurlanishini va uni optik tolaga samarali kirishini ta'minlashi kerak;

- manba yuqori ishonchlikka ega bo'lishi va ko'p muddatga xizmat qilishi kerak;

- o'lchamlari, og'irligi va sarf qiladigan quvvati minimal bo'lishi kerak;

- texnologiyalarning oddiyligi arzon narxlarni va yuqori ishlab chiqaruvchanlikni ta'minlashi kerak.

Muayyan tizim xususiyatlari nurlanish manbalari tavsiflariga bir qator o'ziga xos talablar qo'yadi. Bu talablar bir moddali optik toladan foydalanish bilan axborotlarni uzoq masofalarga uzatadigan yuqori tezlikli tizimlarda juda qat'iy hisoblanadi. Birinchi navbatda gap nurlanishning spektral tavsiflari haqida ketadi. Bir moddali optik tolada dispersiya tufayli nurlanish impulsLARining kengayishi nurlanishni spektr kengligiga va signallarni uzatish tezligiga proporsionaldir.

Kogerent usulli zamonaviy OA tizimlarida nafaqat qisqa spektrli, balki λ_0 to'liq uzunligi uzoq muddatga barqaror bo'lgan manbalar zarur. Agarda qo'shni kanallar o'rtasidagi spektr oralig'i katta bo'lmasa, λ_0 to'liq uzunligining yuqori barqarorligi spektr bo'yicha ajratilgan tizimlarda ham zarur.

Tabiiyki, yuqori tezlikli tizimlarda nurlanish manbalarining dinamik tavsiflariga ham muhim talablar qo'yiladi. Boshqa parametrlarini (modda tarkibi, yo'nalish diagrammasi va boshqalar) jiddiy o'zgarishsiz nurlanish fazasi, chastotasi yoki jadalligining to'g'ridan to'g'ri modulatsiyalanishiga imkon beruvchi optik nurlanish manbalaridan foydalanish juda qulay.

Nisbatan past tezlikda signallarni yaqin masofalarga uzatuvchi tizimlarda: shahar, zona, binolar ichida va boshqa OA tizimlarda qo'llaniladigan nurlanish manbalarining tavsiflariga nisbatan pastroqtalablar qo'yiladi. Bu tizimlarda pog'onali sindirish ko'rsatkichli optik tolalardan foydalaniladi.

O'tkazishning chastota polosasi optik tolalarning modalararo dispersiyasi orqali aniqlanadi. Shuning uchun yuqorida aytib o'tilgan OA tizimlarida kogerent manbalardan foydalanish o'z ma'nosini yo'qotadi.

OA tizimlari uchun optik nurlanish manbalarining uch sinfi ma'lum: yarim o'tkazgichli, tolali va hajmli mikrooptik manbalar (mikrolazerlar).

Ularning hammasi u yoki bu darajada yuqorida ko'rsatilgan talablarga javob beradi, lekin faqat yarim o'tkazgichli manbalar, ya'ni yorug'lik diodlari va lazerlardan keng foydalaniladi.

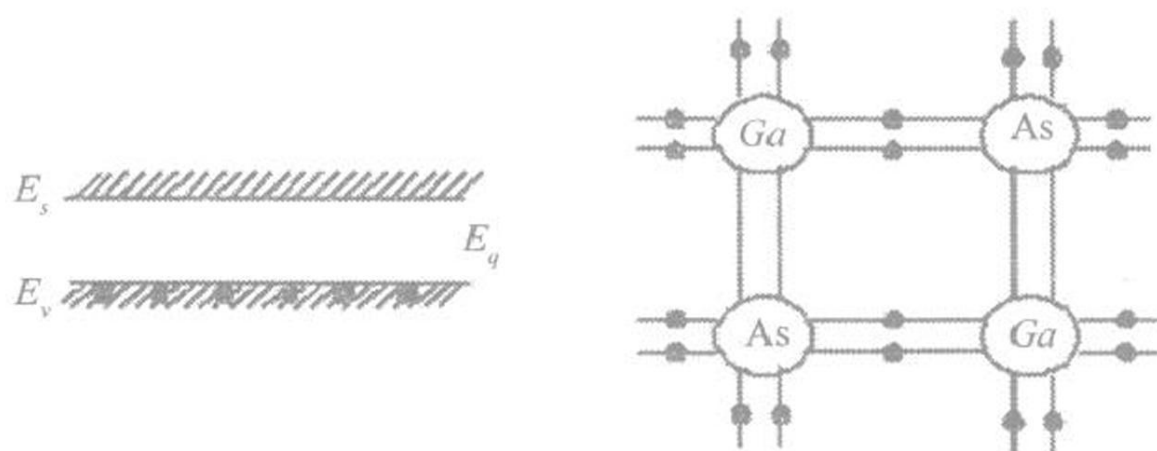
Yarim o'tkazgich nurlanish manbalarining jadal rivojlanishi birinchi navbatda yuqori samaradorlik bilan elektr toki energiyasini bevosita optik nurlanishga aylantirishi, yuqori tezlikda tok bilan kuch berilishidan nurlanish parametrlarini to'g'ridan to'g'ri o'zgartirish imkoniyatining mavjudligi, og'irlik va o'lchamlarining kichikligi kabi OA tizimlari uchun muhim bo'lgan ijobiy xususiyatlarning birikuviga bog'liq.

2.11. OPTIK SIGNALNING UZATUVCHI KOGERENT VA NOKOGERENT NURLANISH MANBALARINING ISHLASH PRINTSPLARI

Kvant mexanikasidan ma'lumki, elektronlar tomonidan egalangan energiyaning qiymati uzluksiz hisoblanmaydi, balki diskret xususiyatga ega. Energetik xolatlarning diskretligi elektron u yoki bu energetik sathda joylashgan deb gapirishga asos bo'ladi. Yarim o'tkazgichlarda (2.22-rasm) elektronlarning zichligi nisbatan ko'p va shuning uchun ko'plab energetik sathlar zona tashkil qilgan holda zich joylashgan. [4]

Bunday zonalarning ikki turi mavjud: yuqori – E_s energiyali o'tkazuvchanlik zonasi, quyi – E_v valent elektronlar zonasi. Bu zonalar orasida E_g energiyali taqiqlangan zona joylashgan.

Valent elektronlar zonasi bazaviy (minimal) energetik sathga mos keladi deb hisoblanadi. Issiqlik muvozanatida deyarli hamma elektronlar aynan shu zonada joylashadi, ya'ni elektronlar yarim o'tkazgich kristall panjarasining aniq joylarida to'planadi va saqlanib qolinadi.



2.22-rasm. Yarim o'tkazgichlarning energetik sathlari.

Agar elektronlarga tashqaridan energiya berilsa, nima yuz beradi? degan savol paydo bo'ladi. Agar yarim o'tkazgichning $p-n$ o'tishiga to'g'ri yo'nalishdagi siljituvchi kuchlanish berilsa, unda o'tish joyi orqali elektr toki o'ta boshlaydi. Agar tashqaridan beriladigan energiya miqdori ko'p bo'lsa, unda past energetik sathda joylashgan ba'zi elektronlar qo'shimcha energiyani egallagan holda yuqori sathlarga o'tadi, ya'ni valent zonada to'plangan elektronlarning bir qismi o'tkazuvchanlik zonasiga o'tadi.

Bu yarim o'tkazgich ichida ko'chib yurib, joylasha oladigan erkin elektronlarning paydo bo'lishiga olib keladi. Bunda valent elektronlar zonasining bo'shatilgan joylarida musbat zaryadlangan kovaklar paydo bo'ladi.

Kovaklar va erkin elektronlar yarimo'tkazgichda tokning tashuvchilari hisoblanadi. Yarim o'tkazgichdagi erkin elektronlar kristall panjara tugunlari yoki boshqa elektronlar bilan to'qnashib, valent elektronlar zonasiga «qaytib tushadi» va «elektron-kovak» juftligi yo'qoladi. Agar past energetik sathga yoki valent elektronlar zonasiga «qaytib tushish» to'qnashuvsiz yuz bersa, unday holatlarda elektronlar tomonidan yo'qotilgan energiya foton ko'rinishda ajralib chiqadi. Nurlanishning bunday jarayoni spontan nurlanish deb nomlanadi.

n chastota E energetik sathlarning farqi ($E_s - E_v$ ga teng), ya'ni taqiqlangan energetik zona kengligi bilan aniqlanadi:

$$\nu = C/\lambda = E_g/h, \quad (2.13)$$

bunda C – yorug'lik tezligi, $s = 3 \cdot 10^8$ m/sek; λ – to'lqin uzunligi, mkm; E_g – taqiqlangan zona kengligi; h – Plank doimiysi, $h = 6,626 \times 10^{-34}$ j.sek.

Bu formula Borning chastota sharti deyiladi. Yorug'lik jadalligi «elektron-kovak» juftliklari soniga bog'liq.

Spontan optik nurlanish har qanday elektronning bir energetik

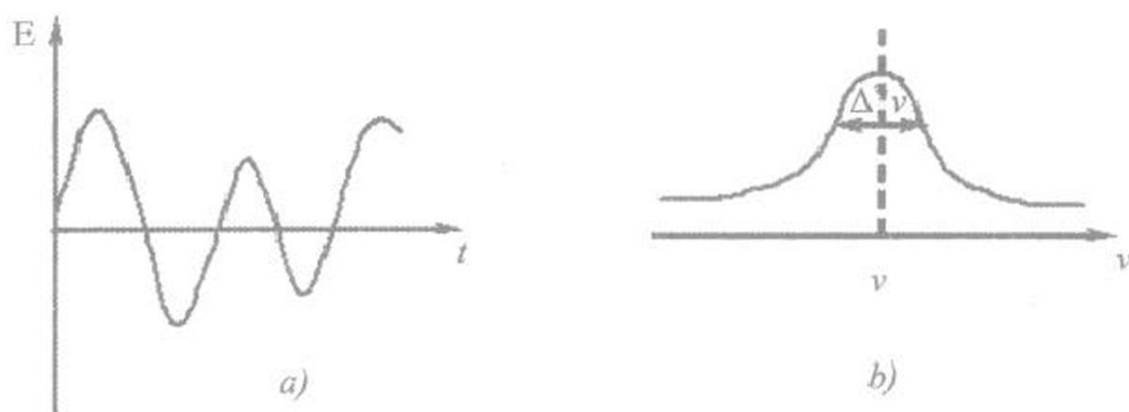
sathdan boshqasiga o'tishidan paydo bo'ladi. Lekin hamma elektronlarning o'tish vaqti bir-biriga mos kelmaganligi uchun nurlanishning ustma-ust tushishi yuz beradi va amplituda, fazalari har xil bo'lgan optik to'lqinlar paydo bo'ladi. Buning natijasida esa chastota bo'yicha ham bir turda emaslik kuzatiladi. Bundan tashqari, E_q energiyasining eng kichik tebranishlari shunday darajada bo'lmasa ham nurlanishni chastotaviy yoyilib ketishiga ta'sir qiladi. Shunday qilib, optik nurlanish elektron maydonining kuchlanganligi vaqt bo'yicha quyidagi qonun bo'yicha o'zgara-di (2.23- a rasm):

$$E(t) = (A + a(t) \sin[2\pi f t + \varphi(t)]) \quad (2.14)$$

bunda $a(t)$ – amplituda tebranishi (amplituda modulatsiyasi shovqinlari),

$\varphi(t)$ – chastota tebranishi (chastota modulatsiyasi shovqinlari).

Ushbu nurlanishni spektri 2.23 – b rasmda ko'rsatilgan.



2.23 - rasm. Nokogerent yorug'lik to'lqinlarining tavsiflari:

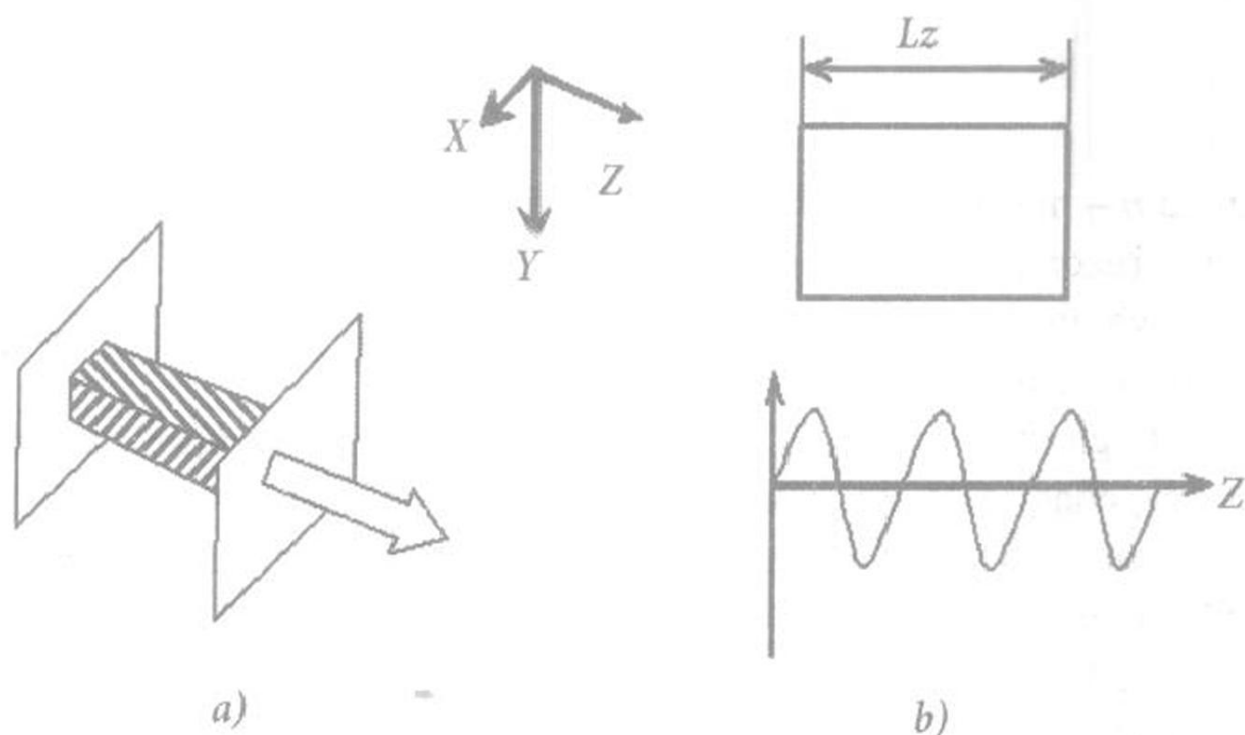
- a) elektr maydon kuchlanganligining vaqt bo'yicha o'zgarishi;
- b) nurlanish spektri.

Agar hamma tebranishlar sinfaz sinusoidlardan iborat va chastota og'ishlari yo'q darajada bo'lganda edi, spektr f Chastotali yag-

ona liniyadan tashkil topgan bo'lar edi. Modomiki yaqorida aytib otilgan holatda chastota titrashlariga ega bo'linganligi uchun spektr bu titrashlar bilan aniqlanuvchi Δf kenglikni egallaydi.

Spektr kengligi nurlanish manbayining monoxromatikligini tavsiflovchi parametr sifatida qo'llaniladi.

Spontan nurlanish kam monoxromatiklikka ega bo'lgani uchun u nokogerent yorug'lik deyiladi. Spontan nurlanishli nokogerent manbalarga yorug'lik diodi (YoD) misol bo'ladi.



2.24.-rasm. Fabri-Pero rezonatorining umumiy tuzilishi (a) va Z o'qi bo'ylab elektr maydonining taqsimlanishi (b)

Yuqorida aytib o'tilganlardan farqli ravishda sinfaz optik to'lqinlarni nurlantiruvchi manbalarga yorug'likning kogerent manbalari deyiladi.

Ularning ishi asosini hajmli rezonator bilan egallangan, yarim o'tkazgichning spontan nurlanishi tashkil etadi.

Fabri-Pero rezonatorlari keng tarqalgan bo'lib, Z o'qiga perpendikular o'rnatilgan ikkita ko'zgudan iborat (2.24 - a rasm)[4].

Ko'zgu musbat teskari aloqa rolini bajaradi. Ushbu konstruktsiya Z o'qi bo'ylab nurlarning tarqalishiga to'sqinlik qiladi. Shu tarzda ko'ndalang modalar soni kamayadi.

2.24, - b rasmda Z o'qi bo'ylab elektr maydonning taqsimlanishi ko'rsatilgan [4]. Z o'qi bo'ylab elektr maydonining taqsimlanishini ko'rib chiqamiz. Elektr maydon egri taqsimlanishining Z o'qi bilan kesishishlar soni N_z juda ko'p deb hisoblaymiz. Bunda turg'un to'lqinlarining mavjudlik shartidan kelib chiqqan holda quyidagi ifodaga ega bo'lamiz:

$$\frac{\lambda_N}{2n} \cdot N_z = L; \quad v_N = \frac{c}{\lambda_N} \quad (2.15)$$

bunda n – muhitning sindirish koeffitsiyenti;

L – rezonator uzunligi;

λ_N va v_N mos ravishda rezonatoridagi turg'un to'lqin-larning uzunligi va chastotasi.

(2.1) ga mos ravishda, stabil sharoitlar faqat λ_N to'lqin uzunlikli va v_N chastotali yorug'lik uchun mavjud bo'ladi. N_z uchastkaga bo'lingan elektr maydon o'zida N_z tartibli bo'ylama modani namoyon etadi. N_x va N_y ko'ndalang modalar ham mavjud. To'liq holda N_x –, N_y – va N_z – tartibli modalar mavjudligini ham ta'kidlash mumkin.

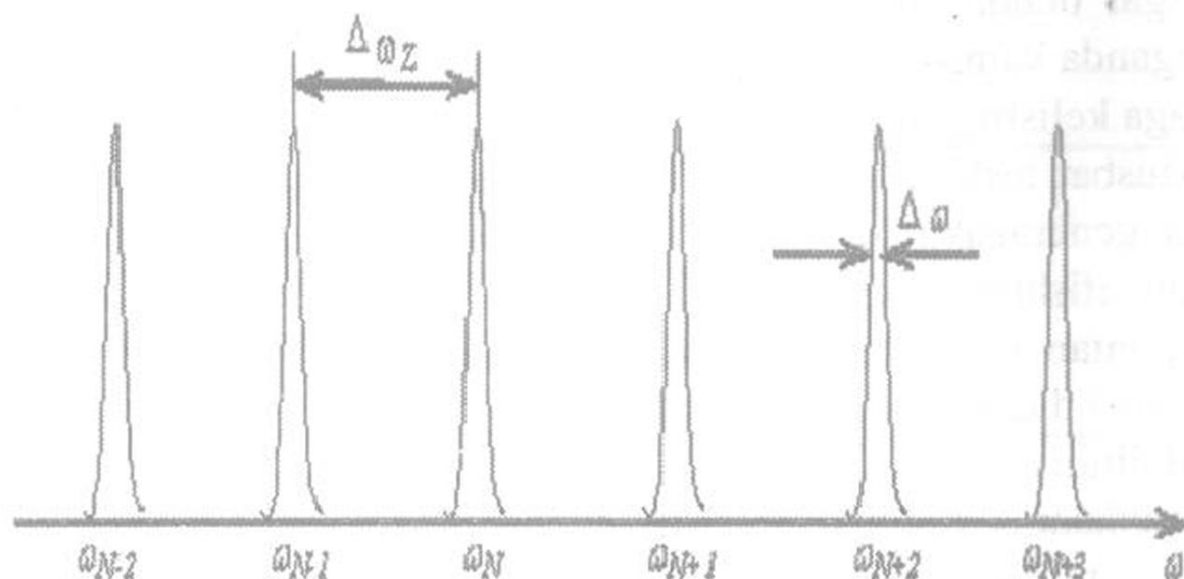
Shu tarzda, rezonatorida X , Y , Z o'qlarining ikkala tomoniga yo'nalgan, turli modalar qancha bo'lmasin, stabil sharoit (rezonans sharti) faqat yuqorida aytib o'tilgan elektromagnetizm qonunlarini qoniqtiruvchi yorug'lik uchun o'rnatiladi va bu yorug'lik N_x –, N_y – va N_z – tartibli modalar ko'rinishida qolishni davom ettiradi.

Agar N_z qiymatni faqat +1 ga o'zgartirsak, unda (6.3) ga muvofiq va $N_z \gg 1$ ni hisobga olib, quyidagi ifodani olamiz:

$$\Delta\lambda = \lambda^2/2nL; \quad \Delta\omega = c/2\pi L \quad (2.16)$$

(2.16) dan ko'rinib turibdiki, bo'ylama moddalar chastotasi chastota o'qida, $c/2\pi L$ ga teng bo'lgan bir xil intervalda joylashgan (2.25- rasm).

Bo'ylama modalarning bu intervallari chastota intervallari deyiladi.



2.25 - rasm. Bo'ylama modalar spektri.

Rezonatorning mavjudligi sinfaz optik to'lqinlar yuzaga kelish sharoitini yaratadi.

Natijada nurlanish spektri diskret yoki kogerent bo'ladi.

Kvant mexanikasi qonunlariga ko'ra musbat teskari aloqaga ega rezonatorlarning bunday tuzilishida nafaqat spontan nurlanish, balki induksiyalangan (majburiy) nurlanish deb nom olgan jarayon ham yuz beradi.

Induksiyalangan nurlanishning mohiyati shundaki, agar o'tkazuvchanlik zonasida joylashgan elektronga 2.13 - formuladan aniqlanadigan f chastotasi ga taxminan teng bo'lgan f_0 chastotali yorug'lik tushsa, f_0 chastotali va tushayotgan yorug'lik yo'nalishidagi nurlanish paydo bo'ladi.

Shu usulda spontan nurlanishga induksiyalangan nurlanish qo'shiladi.

Ko'zgular orasida hosil bo'lgan induksiyalangan nurlanishni har bir o'tishda u yarim o'tkazgich muhiti bilan kuchaytiriladi.

Chunki yangidan-yangi induksiyalangan nurlanishli tashuvchilar rekombinatsiyasini chaqiradi.

Agar bunday tuzilishda umumiy yo'qotishlar kuchayish-larga qaraganda kamroq bo'lsa, unda majburiy nurlanish generatsiyasini yuzaga kelishi bilan tavsiflanuvchi lazer effekti hosil bo'ladi.

Musbat teskari aloqani ta'minlovchi ko'zgularni olib tashlash bilan generatsiya to'xtaydi, lekin spontan nurlanish avvalgidek davom etishi mumkin.

Spontan va induksiyalangan (majburiy) nurlanish print-siplari LD-lazer diodlarda ishlatilindi.

Majburiy yoki induksiyalangan nurlanish nurlanadigan bo'ylama modalar sonini kamaytiradi.

Buni misolda ko'rib chiqamiz.

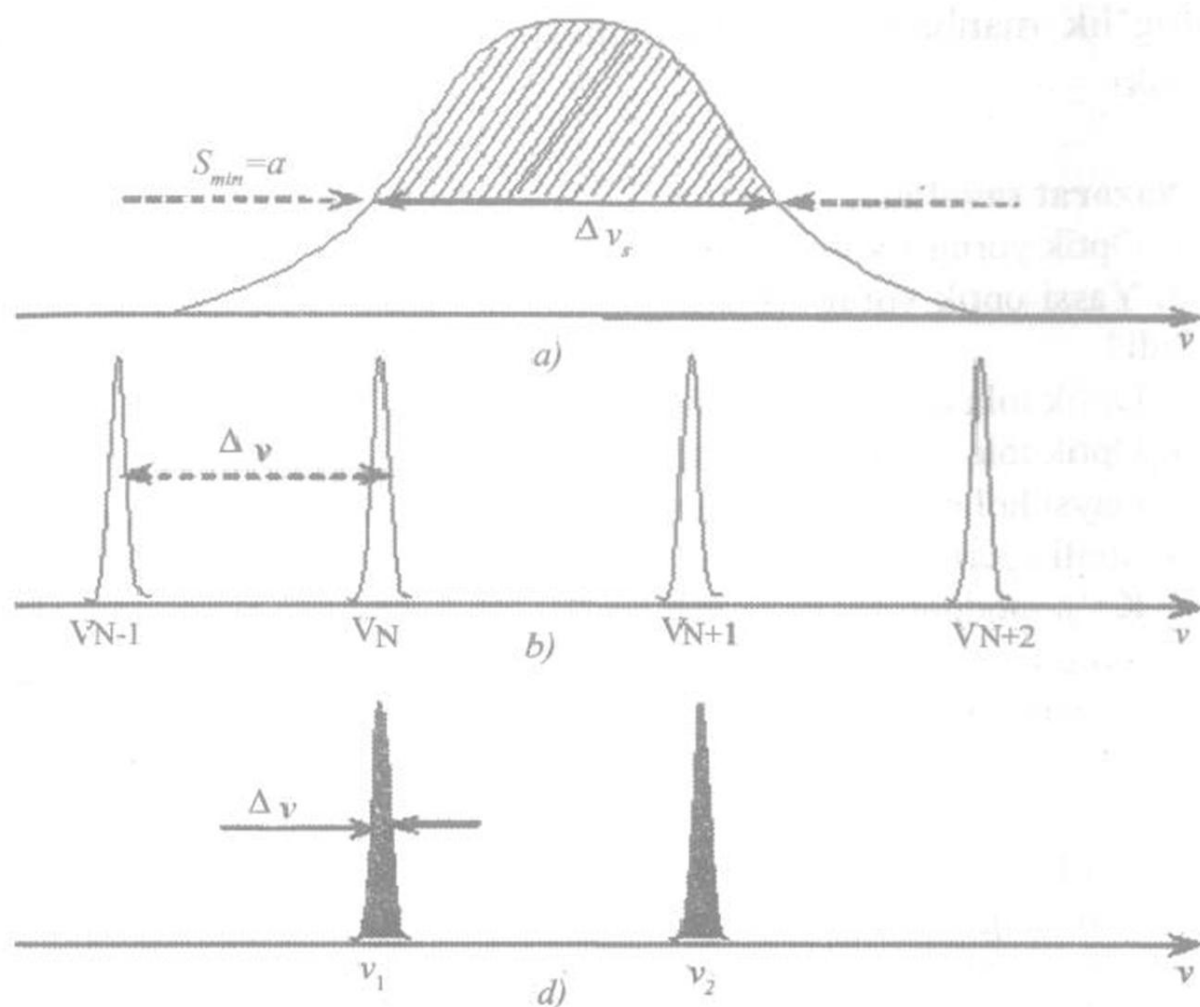
Lazerda generatsiya spontan nurlanish turi sifatida paydo bo'lgani uchun lazerning nurlanish quvvati va uning chastotasi spontan nurlanish spektriga bog'liq bo'ladi.

2.26-rasmda bo'ylama moddalarni spontan (a), kogerent (b) nurlanishlarining spektrlari va lazer generatsiyasi spektri ko'rsatilgan [4]

Lazerda tebranishlarning qo'zg'alish darajasini aks ettiruvchi spontan nurlanish spektrini bu tebranishlarni kuchayish xarakteristikasi (kuchayish spektri) deb hisoblash mumkin.

Lazerda tebranishlarni hosil qilish uchun rezonatoridagi yo'qotishlarni kompensatsiya qilish va optik nurlanishni kuchaytirish uchun kerakli bo'lgan energiyani tashqi manbadan nurlantiruvchi muhitga kiritish kerak. Generatsiya uchun kerak bo'lgan minimal kuchayish koeffitsiyenti S_{min} yoki chegaraviy kuchayish koeffitsiyenti deb ataluvchi yo'qotishlarni α muvozanatlovchi quyidagicha ifodalanadi:

$$S_{min}=a.$$



2.26-rasm. Lazer tebranishlarini spektri:

a) spontan nurlanish spektri; b) kogerent nurlanish spektri; d) lazer generatsiyasi spektri.

Bunda lazer generatsiyasi rezonatorning bo'ylama moddalari-ni n_N chastotasida paydo bo'ladi. n_N chastota λ_ν sohaga kiradi. Shu tariqa, generatsiya bir yoki bir necha bo'ylama modalarda bir vaqt-da yuzaga kelishi mumkin. Bizning misolimizda generatsiya ikki moddada ($n_1; n_2$) hosil bo'lgan [4].

Generatsiya asosidagi spontan nurlanishning amplituda tebran-ishlari va chastota titrashlari bu yerda sezilarli darajada bo'lmay,

lazer yorug'ligining amplituda va chastota modulatsiyalarining shovqin sathini chegaralaydi. Lazer nurlanishining spektr kengligi $\Delta\nu_L$ ana shu shovqinlar bilan aniqlaydi, biroq u nokogerent yorug'lik manbayining nurlanish spektri kengligi $\Delta\nu$ dan ancha kichik.

Nazorat savollari:

1. Optik yorug'lik uzatgichlarning qanday turlarini bilasiz?
2. Yassi optik yorug'lik uzatgichlardan qanday maqsadlarda foydalaniladi?
3. Optik tola qanday tuzilgan?
4. Optik tola qanday materiallardan tayyorlanadi?
5. Qaysi holatda yorug'lik nuri faqatgina o'zak bo'ylab tarqaladi?
6. Sonli apertura va burchak aperturasi tushunchalarini ta'riflang.
7. Ko'p moddali va bir moddali tolalarni farqi nimada?
8. Ko'p moddali tolalarning qanday turlarini bilasiz?
9. Dispersiya bo'yicha bir moddali optik tolalar qanday turlarga bo'linadi va ularning qo'llanish sohalarini tushuntiring.
10. Dispersiyasi siljigan tolalar qanday hosil qilinadi?
11. Optik tolaning so'nish bo'yicha baholanishi nimaga bog'liq?
12. Toladagi yo'qotishlar qanday omillar tufayli yuzaga keladi?
13. Optik tolaning xususiy yo'qotishlari qanday hosil bo'ladi?
14. Optik tolaning kabel yo'qotishlari qanday hosil bo'ladi?
15. Optik signalni uzatish sifatiga qanday omillar ta'sir qiladi?
16. Optik tolaning dispersiya bo'yicha baholanishi nimaga bog'liq?
17. Dispersiya tushunchasini ta'riflang.
18. Dispersiyaning qanday turlarini bilasiz? Ularni ta'riflang.
19. Moddalararo dispersiyani ta'riflang.
20. Xromatik dispersiyani ta'riflang.
21. Qutblangan modda dispersiyasini ta'riflang.
22. Dispersiyani kamaytirish maqsadida qaysi usullardan foydalaniladi?
23. Tolali optik kabellar vazifasi, tuzilishi, tayyorlangan materialiga bog'liq ravishda qanday turlarga bo'linadi?
24. Optik signallarni uzatuvchi nurlanish manbalariga qanday talablar qo'yiladi?

- 25 Spontan nurlanishning hosil bo'lishini tushuntiring.
26. Induksiyalangan (majburiy) nurlanishni hosil bo'lish shartlarini tavsiflang.

3. YORUG'LIK VA LAZER DIODLAR

3.1. YORUG'LIK DIODLARINING TURLARI, TAVSIF VA PARAMETRLARI

Yuqorida qayd etilganidek, yorug'lik diodi nokogerent optik nurlanishga misol bo'la oladi. Bunday manbalarning asosi bo'lib, to'g'ri o'tishli yarim o'tkazgich xizmat qiladi (GaAs va boshqalar). Unda o'tkazuvchanlik zonasidagi elektronlar kristall panjara tugunlari bilan to'qnashmaydi, ya'ni energiya miqdorini saqlab valent elektronlar zonasiga o'tadi va kovaklar bilan qaytadan bog'lanadi. Bunday o'tishda spontan nurlanish vujudga keladi.

GaAs va boshqa birikmalar asosidagi ikki yoki undan ortiq elementlardan tashkil topgan yarim o'tkazgichlar ko'pincha to'g'ri o'tishli yarim o'tkazgichlar hisoblanadi va yorug'lik oson nurlantiriladi. Agar 3–4 turdagi elementlardan foydalanilsa (aralashma yarim o'tkazgichlar), komponentlarning o'zaro nisbatiga mos holda taqiqlangan zona E_g energiyasi o'zgaradi. Bu bilan turli to'lqin uzunliklarini nurlantiruvchi manbalarni yaratishga imkon tug'ildi. Komponentlarning o'zaro nisbatini o'zgarishidan sindirish koefitsiyenti ham o'zgaradi. 3.1-jadvalda kimyoviy birikmalar asosida olingan yarim o'tkazgichlarning bir necha turlari berilgan va ularning optik nurlanish diapazoni ko'rsatilgan [4].

Al, In, P va Sb qo'shimchalarga ega GaAs kristallaridan tashkil topgan uch elementli kimyoviy birikmalar keng tarqalgan. Ular quyidagicha tasvirlanishi mumkin:

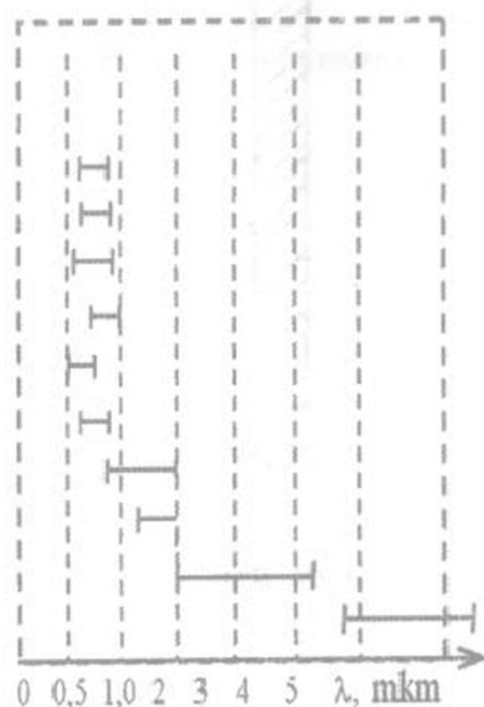
$\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$, $0 \leq x \leq 1$, bu yerda x – komponent qism (molar massa). Ko'rsatilib o'tilgan birikmalar $\lambda < 1$ mkm yorug'likni nurlantira-

di. Agar InP asosida to'rt valentli kimyoviy biri-kma, masalan, $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{P}_{1-y}$ tayyorlansa, x va y qismlari nisbatidan kelib chiqqan holda nurlanish 1,0 dan 1,6 mkm to'liq uzunligi oralig'ida o'zgargadi.

3.1-jadval

**Turli kimyoviy birikmalar asosidagi yarim o'tkazgich
lazerlarning nurlanish sohalari**

Aktiv qatlam	Qobiq qatlami	Taglik
Al Ga As	Al Ga As	Ga As
Ga In AsP	Ga InP	Ga As
Ga In AsP	Ga InP	Ga As
Ga In AsP	Al Ga InP	Ga As
Al Ga InP	Al Ga InP	Ga As
Ga In AsP	Al Ga As	Ga As
Ga In AsP	InP	InP
Al Ga As Sb	Al Ga As Sb	Ga Sb
In As Sb P	In As Sb P	InAs
Pb Sn Se Te	Pb Sn Se Te	PbTe

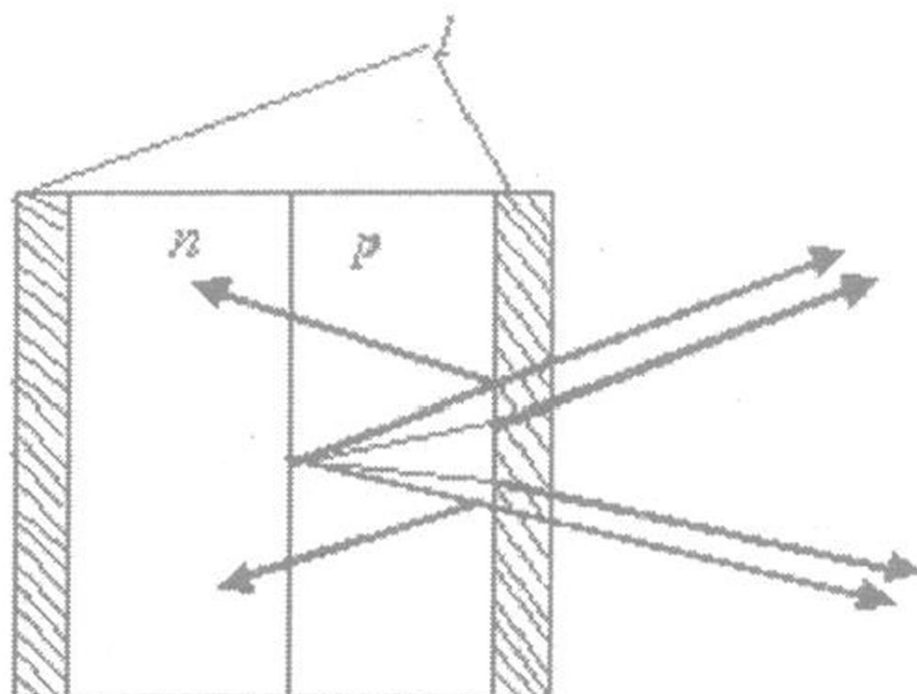


$p-n$ o'tishli oddiy yorug'lik diodining ishlash prinsipi ni ko'rib chiqamiz (3.1-rasm) [4].

Muvozanat holatiga qaraganda, elektron va kovaklar konsentratsiyasi yuqori bo'lganda nurlanish hosil bo'ladi. Bu holatning qo'zg'alishi yuqori o'tkazuvchanlik yo'nalishida $p-n$ o'tish orqali tashuvchilar injeksiyasi bilan ta'minlanadi.

n -sohadan p -sohaga elektronlarni injeksiyasida nurlanishning yuqori samaradorligini ta'minlash maqsadida n -sohani yuqori legirlash bilan va p va n sohalari xususiyatlari o'zgarguncha legirlangan.

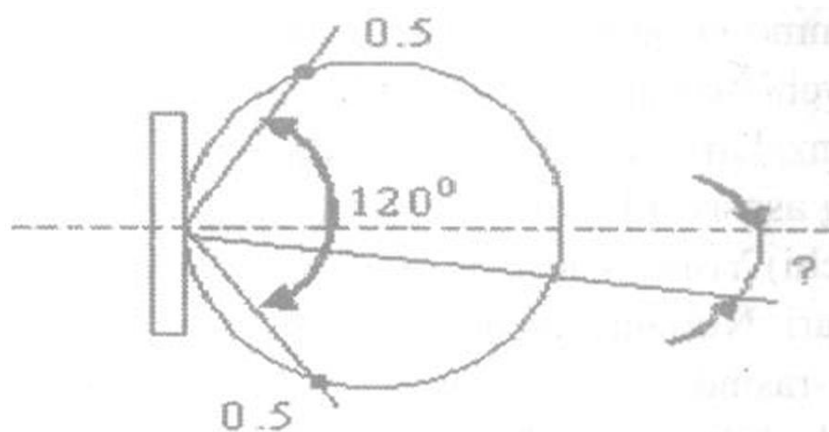
Injeksiyalangan elektronlarni faqatgina ma'lum qismigina nurlantirib rekombinatsiyalaydi. Qolganlari nurlanishsiz rekombinatsiyalarda yo'qoladi. Spontan nurlanish bevosita o'tish yo'lida hamma yo'nalishlar bo'ylab p -sohaga boradi.



3.1-rasm. p - n - o'tishli yorug'lik nurlantiruvchi diod 1-elektrod.

Biroq, p -sohada nurlanishni ma'lum qismigina ishlatilinadi, ustki yuzada esa tushish burchagiga bog'liq holda qisman yoki to'liq aks etadi. $p - n$ o'tishli turli materiallardan tuzilgan bunday yarim o'tkazgichlar geterotuzilish yoki getero'tish deyiladi.

Nurlanish jadalligi kuchsiz holda uzatish burchagi θ ga bog'liq va Lambert qonuni orqali aniqlanadi: $J(\theta) = J_0 \cos \theta$, bunda J – nurlantiruvchi yuzaga normal yo'nalishdagi nurlanish jadalligi. Ya'ni, bunday nurlantiruvchi deyarli yo'nalishga ega emas. Uni yo'nalganlik diagrammasi kengligi $\Delta F(\theta) = J(\theta)/J_0$, normal orqali yuzaga o'tuvchi, hamma yuza tekisligida quvvat yarim sathi bo'yicha, 120° ni tashkil etadi (3.2-rasm)



3.2-rasm. Yorug'lik diodining yo'nalganlik diagrammasi.

Bunday manba uchun to'liq nurlanish quvvati

$$R_o J(\theta)$$

dan integral orqali aniqlanadi:

$$P_o = \pi J_0.$$

Bunda optik tolaga kiritish mumkin bo'lgan maksimal quvvat P_s , sonli aperturadan aniqlanadi va quyidagi formuladan hisoblanadi:

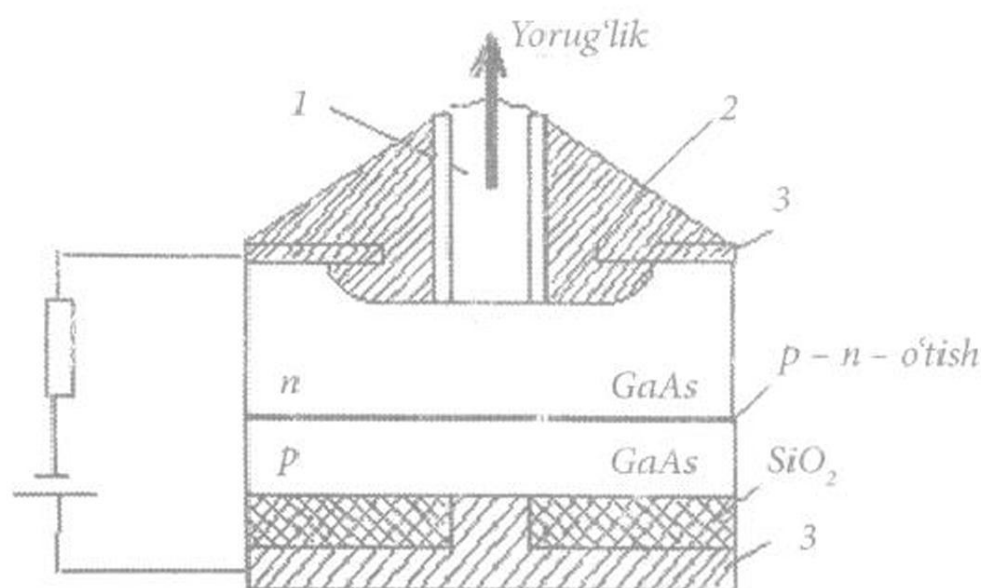
$$P_s = \pi J_0 (NA)^2 = P_o (NA)^2. \quad (3.1)$$

(3.1) formuladan ko'rinib turibdiki, yorug'lik diodi (YoD)dan optik tolaga kiritiladigan quvvat, uning sonli aperturasi kvadrati-ga proporsional. NA qiymati 0,15...0,24 oraliqda tanlanadi. Agar $NA=0,2$ ga teng bo'lsa, unda tolaga kiritish samaradorligi 4% dan oshmaydi, bu quvvatni 14 dBga yo'qotilishiga mos keladi. Shu tariqa YoDdan foydalanish nurlanishni tolaga samarali kiritish muammosini yuzaga keltiradi.

Bu muammo nurlanishni tolaga kiritishni yuqori koeffitsiyentini ta'minlovchi maxsus yorug'lik diodlarini qayta ishlash, shuningdek mikrolinzalarni qo'llash yordamida hal qilinadi.

YoDning asosiy ikki turi mavjud: nurlantiruvchi yuzali (sirdan nurlantiruvchi) YoD va nurlantiruvchi kesimli (yonidan nurlantiruvchi) YoDlari. Nurlantiruvchi yuzali (sirdan nurlantiruvchi) YoD tuzilishi 3.3-rasmda ko'rsatilgan [4]

Optik tola bilan fizik moslashuv va yorug'likni kuchli yutilishining oldini olish uchun GaAs li sohaga chuqurcha o'yiladi. Nurlantiruvchi sohaning o'lchamlari metall kontakt o'lchamlari bilan aniqlanadi va optik tola diametriga mos ravishda tanlanadi. Nur-ni optik tolaga kiritishdagi yo'qotishlar moslashtiruvchi qurilma qo'llanilmagan holda tolani NA sonli aperturasiga bog'liq bo'ladi va 14...20 dB ni tashkil etadi.

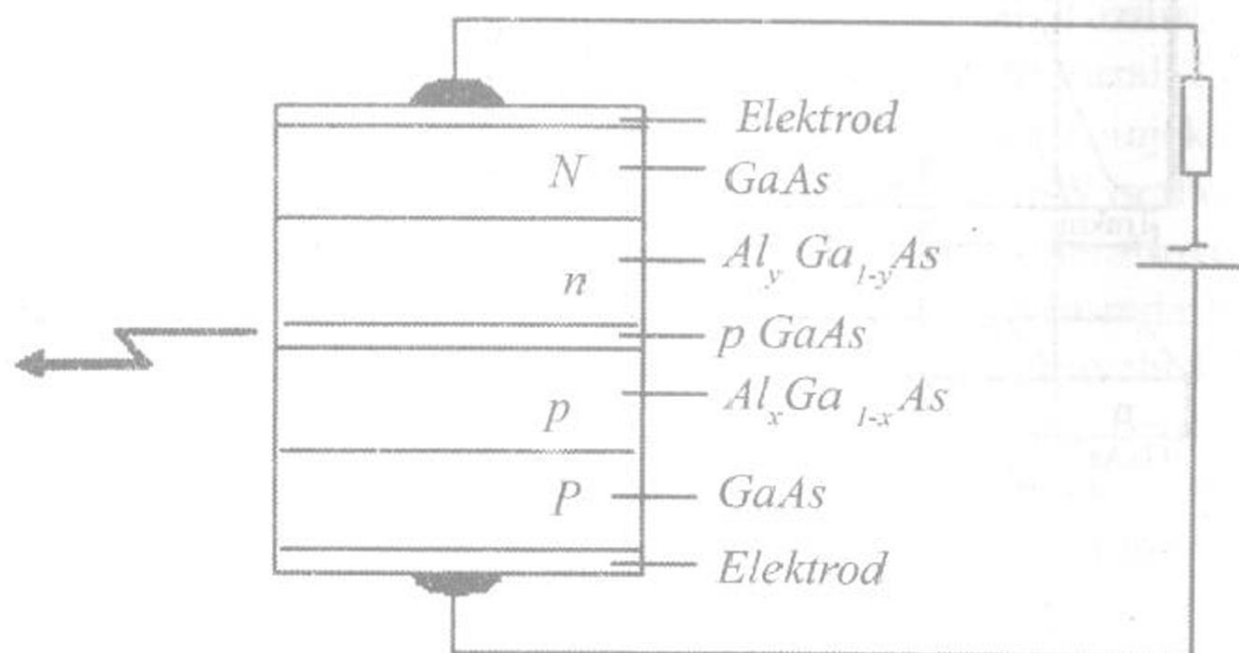


3.3-rasm. Nurlantiruvchi yuzali (sirdan nurlantiruvchi) YoD tuzilishi:

1 – optik tola; 2 – yopishtiruvchi tarkib; 3 – elektrod.

Moslashtiruvchi qurilmalarni qo'llash bu yo'qotishlarni kamaytirishga imkon beradi.

Nurlantiruvchi kesimli (yonidan nurlantiruvchi) YoD tuzilishi 3.4-rasmda ko'rsatilgan.



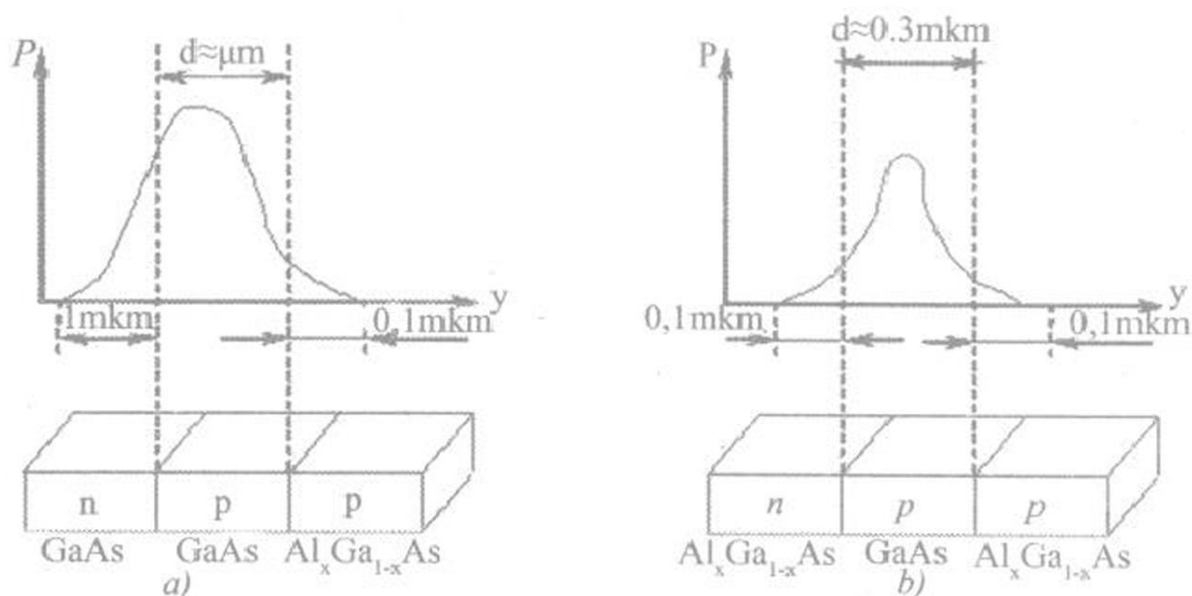
3.4-rasm. Nurlantiruvchi kesimli (yonidan nurlantiruvchi) YoD ning tuzilishi.

Nurlantiruvchi kesimli (yonidan nurlantiruvchi) YoD larda ikki-talik geterotuzilish ishlatiladi.

3.5 - a va b rasmlarda mos ravishda bir tomonlama chegarali geterotuzilish BGT va ikki tomonlama chegarali geterotuzilish IGT ko'rsatilgan. BGTli YoD larda to'g'ri siljitish ta'sirida elektronlar p - n o'tish orqali injeksiyalanadi, so'ng $P(\text{GaAs})$ - $p(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As})$ o'tishni poentsial baryeri bilan tutib qolinadi.

Nurlanish rekombinatsiyasi ko'pincha d qalinlikli aktiv sohada ro'y beradi. Hosil bo'lgan nurlanish tuzilish qatlamlarini turli sindirish ko'rsatkichlaridan tashkil topgan to'lqin o'tkazgichda tarqaladi.

IGT ancha yuqori xususiyatlarga ega. Bunday tuzilishda aktiv nurlanish rekombinatsiyasi (3.5-rasm) o'ng va chapdagi potensial baryerlar evaziga p -sohada (GaAs) kuzatiladi.



3.5-rasm. Bir (a) va ikki tomonlama (b) chegarali geterotuzilishlar.

Hosil bo'lgan yassi simmetrik to'ldin o'tkazgich nurlanishni amalda d soha doirasida yuzaga kelishiga yordam beradi [4].

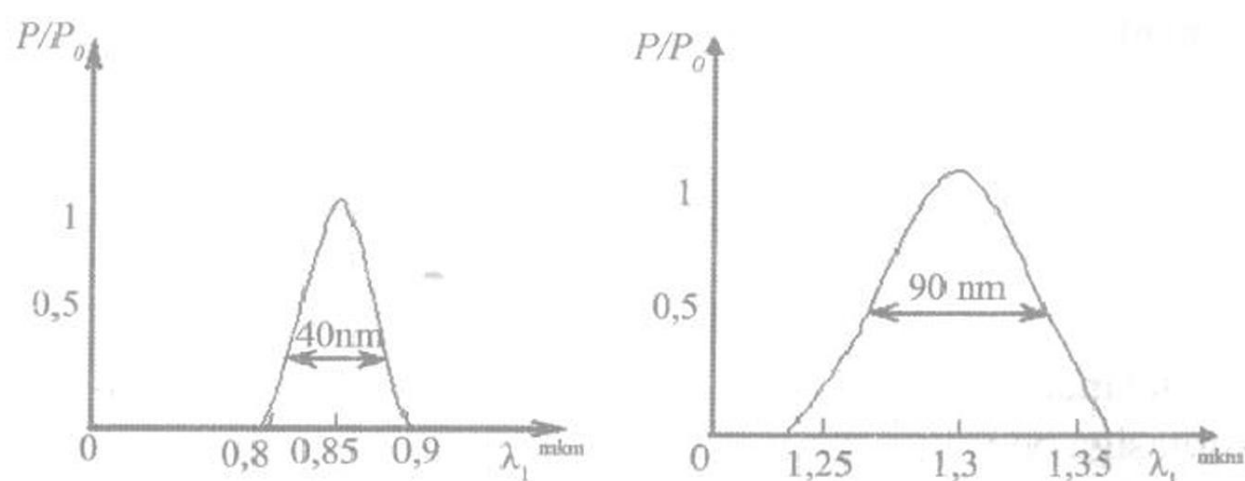
Nurlantiruvchi kesimli (yonidan nurlantiruvchi) BGT va IGTlar-ni ishlatish nurlanishni yuzada tarqalishini kamaytiradi. Normal p - n o'tishda taxminan 30° gacha kamaytiradi.

O'tishga parallel yuzada to'ldin o'tkazish samarasi bo'lmagan holda nurlanish manbalari Lambert qonunlariga bo'ysunadi va yo'nalganlik diagrammasi $\Theta = 120^\circ$ kengligicha qoladi

Nurlantiruvchi yuzali (sirtidan nurlantiruvchi) YoD larga nisbatan nurlantiruvchi kesimli (yonidan nurlantiruvchi) YoD larni nurlanish quvvati 2-5 marta kichik bo'ladi. Biroq, nurlantiruvchi kesimli (yonidan nurlantiruvchi) YoD da tarqalish burchagining kichikligi, ya'ni yo'nalganlik diagrammasining torligi evaziga nur-ni optik tolaga kiritishda yo'qotishlar kam bo'ladi va NA ga bog'liq ravishda 10...16 dBni tashkil etadi.

YoD larning tavsiflari. Yorug'lik diodlarining xususiyatlari ularni ishlatish nuqtang nazaridan nurlanishning to'ldin uzunligi

λ , nurlanish spektrining kengligi $\Delta\lambda$, nurlanish quvvati P noasosiy zaryad tashuvchilarning yashash vaqti τ va nurlanish quvvatining yo'nalganlik diagrammasi θ bilan xarakterlanadi. Tuzilishi va ishlab chiqaruvchilarga bog'liq holda nurlantiruvchi yuzali (sirt-dan nurlantiruvchi) YoD larning nurlanish quvvati I_i injeksiya tokining 100...200 mA qiymatida bir nechadan 100 mW oraliqgacha o'zgaradi. Nurlantiruvchi kesimli (yonidan nurlantiruvchi) YoD larda nurlanish quvvati 1...3 mW ga teng. 3.6-rasmda nurlantiruvchi yuzali (sirt-dan nurlantiruvchi) va nurlantiruvchi kesimli (yonidan nurlantiruvchi) YoD ning nurlanish spektri berilgan. Nurlantiruvchi yuzali (sirt-dan nurlantiruvchi) YoD da $\Delta\lambda=0,85$ mkm da nurlanish spektri kengligi $\Delta\lambda=40$ nm ga, nurlantiruvchi kesimli YoD da $\lambda=1,3$ mkm da nurlanish spektri kengligi $\Delta\lambda=90$ nm ga teng.



3.6-rasm. Nurlantiruvchi yuzali (sirt-dan nurlantiruvchi) va nurlantiruvchi kesimli (yonidan nurlantiruvchi) YoD ning nurlanish spektrlari.

Aloqa tizimlarida YoD qo'llaniganda faqatgina injeksiya toki I_i ni o'zgartirish yordami bilan nurlanish intensivligining to'g'ri

modulatsiyasi ishlatiladi. Injeksiya tokining sinusoidal o'zgarishda optik signalning o'zgaruvchan tashkil etuvchisi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$P = h \cdot \nu \cdot \eta_{\text{ichki}} \cdot I_i / e^{(1+j\omega\tau)}, \quad (3.2)$$

bunda η_{ichki} – ichki kvant samaradorligi; t – noasosiy zaryad tashuvchilarning yashash vaqti.

t qiymati quyidagicha aniqlanadi:

$$1/t = 1/t_n + 1/t_{n\text{-siz}},$$

bunda t_n va $t_{n\text{-siz}}$ mos ravishda nurlanishli va nurlanishsiz τ tishlar bilan aniqlanadigan, noasosiy zaryad tashuvchilarning yashash vaqti.

Materialning ichki kvant samaradorligi quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$\eta_{\text{ichki}} = \frac{1/\tau_n}{1/\tau_n + 1/\tau_{n\text{-siz}}} = \frac{1}{1 + \tau_n/\tau_{n\text{-siz}}}. \quad (3.3)$$

3.7-rasmda ko'rsatilgan, nurlanish quvvatining modulatsiya chastotasiga bog'liqligini qo'llagan holda, nurlanish chastotasining maksimal qiymatini aniqlaymiz.

1 – nurlantiruvchi yuzali (sirtidan nurlantiruvchi) YoD uchun;

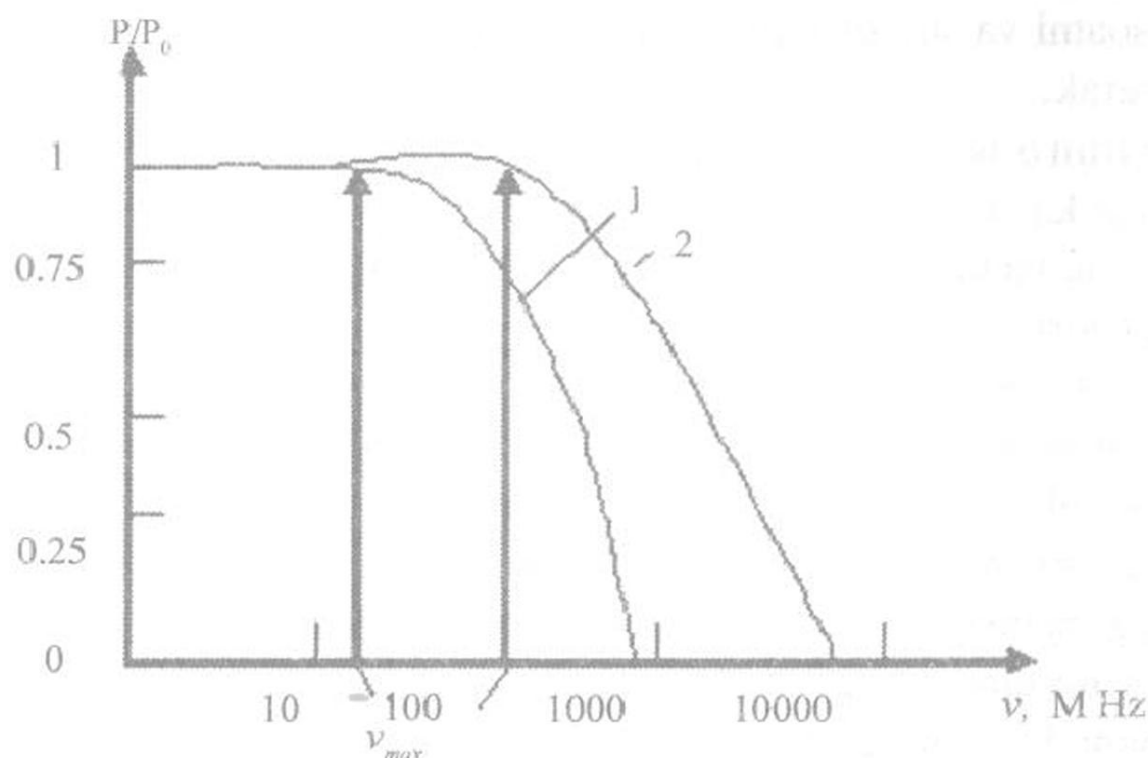
2 – nurlantiruvchi kesimli (yonidan nurlantiruvchi) YoD uchun.

3.7-rasmda ko'rsatilgandek, nurlanish quvvati n_{max} gacha doimiy hisoblanadi (taxminan 25 MHz gacha) va $n_{\text{max}} = 1/(2\pi\tau)$ yoki $n_{\text{max}} = 1/\tau$ sifatida aniqlaydi.

n_{max} dan yuqori chastotalarda nurlanish manbayining samaradorligi kamayadi. τ qiymatning kamayishi chegaraviy chastotan-

ing ortishiga olib keladi. Lekin nurlanishsiz rekombinatsiyalarda yashash vaqti - $\tau_{n\text{ siz}}$ ning kamayishi hisobiga kamayishi, yuqori chastotalarda optik quvvatning ortishiga olib kelmaydi chunki madomiki, ichki kvant samaradorlik kamayadi. Buni (3.5) dan aniqlash mumkin, chunki

$$\nu_{\max} = I(2\pi\tau) = I(2\pi \cdot \eta_{\text{ichki}} \cdot \tau_n$$



3.7-rasm. YoD uchun nurlanish quvvatining chastotaga bog‘liqligi.

Imkon qadar nurlanishlarda yashash vaqti τ_n ni kamaytirish kerak. Bunda quyi chastota modulatsiyasidagi kvant samaradorligi kabi yuqori chastota chegarasi ham ortib boradi. Legirlash darajasini oshirish va injeksiya sathini oshirish yo‘li bilan τ_n qiymatini kamaytirish mumkin. Demak, ikki tomonlama chegarali geterotuzilishli IGT nurlantiruvchi kesimli (yondan nurlantiruvchi) YoD da samaradorlikni kamaytirmasdan 4

marta katta modulatsiya polosasini (100 MHz) olish mumkin (3.7-rasm).

Shu tarzda, YoD lar analog uzatish tizimlarining hamma chiziqli signallari bilan modulatsiyalanishi mumkin.

YoD ning eng muhim parametrlari bu uning ishonchliligi va xizmat qilish muddatlaridir. Yorug'lik diodlaridan uzoq vaqt foydalanish natijasida nurlanish quvvati kamayadi. Harorat 10–20° C ga oshsa, xizmat muddati ikki barobar qisqaradi. Aloqa tizimlarida foydalanish uchun xizmat muddati yer aloqa liniyalari uchun 10⁵ soatni va suv osti aloqa liniyalari uchun 10⁶ soatni tashkil etishi kerak.

Yarim o'tkazgich YoD lar kichik kirish qarshilikli asbob hisoblanadi va katta tok sarflaydi, shuning uchun ularni qo'zg'atish uchun, katta tok va talab etiladigan chiziqlilikni ta'minlovchi, kichik omli tranzistorlarni qo'llanishi kerak.

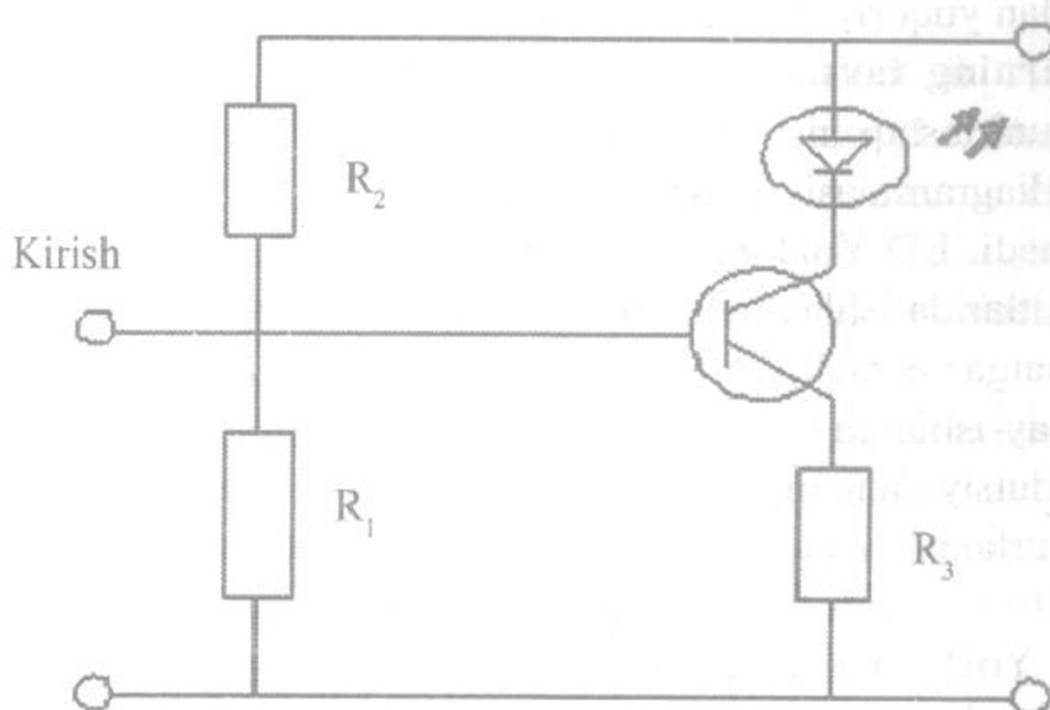
3.8 - rasmda YoD larni tranzistorlarning kollektor zanjiriga ulash mumkin bo'lgan sxemalardan biri keltirilgan.

Modulatsiyalaydigan signal tranzistor bazasiga tushadi va kollektor tokini boshqaradi. Kollektor toki bir vaqtda yorug'lik diodining injeksiya toki hisoblanadi. R_1 va R_2 qarshiliklar yordamida yorug'lik diodi orqali oqib o'tadigan, boshlang'ich tokning kerakli qiymatini tanlash mumkin. Modulatsiyaning real sxemalari, qoida bo'yicha, stabillashtirish rejimi zanjiri va teskari aloqa zanjirlarini ulaydi. U YoD larning vatt amper tavsiflarining noxiziqchiligi ni kamaytiradi.

YoD lar uchta tiniqlik oynalari 850, 1310 va 1550 nm da ishlatish uchun ishlab chiqariladi. Lekin, ular ko'proq 850 va 1310 nm da qo'llaniladi. YoD larni ishlab chiqarish lazer diodlariga qaraganda arzon.

Tuzilishininig taqqosiy soddaligi, yuqori ishonchliligi va nurlanish tavsiflarining nazoratga kuchsiz bog'liqligi, nurlanish spektrining kengligi (60 nm gacha), nurlantiruvchi chastota oralig'ining

torligi (100–200 MHz) va tezkor emasligi sababli YoD lar asosan past tezlikli tizimlarda axborotlarni yaqin masofaga uzatishda qoʻllaniladi.



3.8-rasm. YoD ni tranzistorning kollektor zanjiriga ulash sxemasi.

YoD larning asosiy parametrlarining oʻrtacha qiymatlari 3.2-jadvalda berilgan.

3.2-jadval

YoD larning asosiy parametrlari

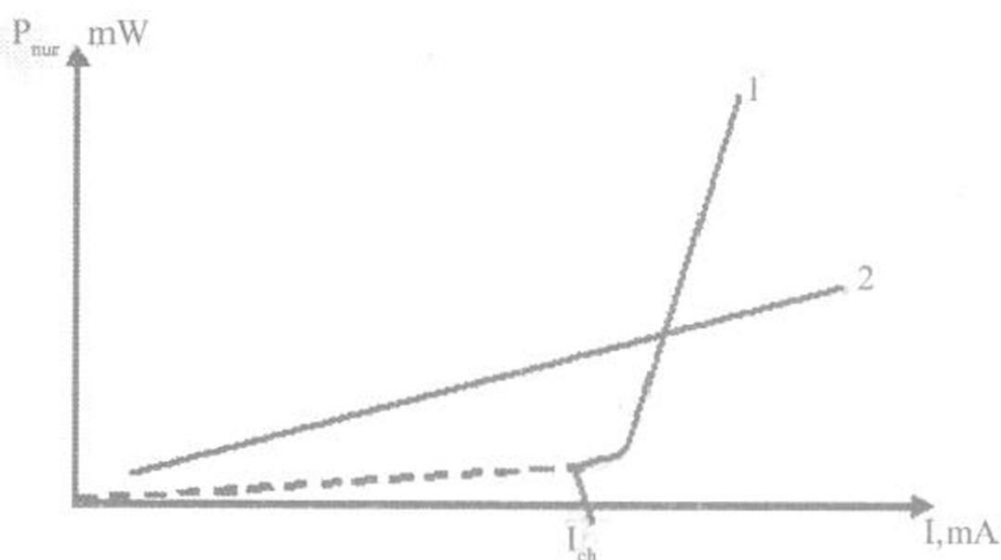
Parametrlari	Birligi	850 nm	1310 nm	1310 nm	1550 nm
Nurlanish liniyasining kengligi	nm	40	50	40	60
Chiqishdagi quvvat	mkW	50	60	20	40
Optik tola oʻzagining diametri	mkm	50	50	9	9
Sonli apertura	b/r	0,2	0,2	0,16	0,16

3.2. LAZER DIODI (LD), UNING TAVSIF VA PARAMETRLARI

Lazer diodlar (LD) odatda uzoq masofali va yuqori tezlikli (155 Mbit/s dan yuqori) optik tizimlarida qo'llaniladi.

LDlarning tavsiflari. LDlar xizmat muddati, nurlanish quvvati va uni tashqi injeksiya tokiga bog'liqligi, nurlanishni yo'nalganlik diagrammasi θ va nurlanish spektri, xizmat muddati bilan tavsiflanadi. LD YoD ga qaraganda tashqi injeksiya tokining katta qiymatlarida ishlaydi. Tashqi injeksiya toki I_i oshib, chegaraviy I_{ch} qiymatga yetgach, generatsiya, qachonki tuzilishdagi yo'qotishlar kuchay-ishlarga teng bo'lganda yoki lazer effekti yuzaga keladi, ya'ni indutsiyalangan (majburiy) nurlanish hosil bo'ladi.

Bu nurlanish yuqori kogerent bo'lgani uchun, LDning nurlanish spektri kengligi YoD ga nisbatan tor LDning nurlanish spektri 1–2 nm, YoD ning nurlanish spektri esa 30–50 nm. Nurlanish quvvatining tashqi injeksiya tokiga bog'liqligini LDning vatt-amper xarakteristikasidan ko'rish mumkin. 3.9-rasmda LD va YoD larning vatt-amper xarakteristikalari ko'rsatilgan.



3.9-rasm. Vatt-amper xarakteristikalar:
1 – lazer diodi uchun; 2 – yorug'lik diodi uchun.

Kichik tok qiymatlarida LDda kuchsiz spontan nurlanish yuzaga keladi, u samarasiz yorug'lik diodi sifatida ishlaydi. Yuqorida aytib o'tilgandek, tok qiymati chegaraviy tok I_{ch} qiymatidan oshganda nurlanish quvvati R_{mur} keskin oshib, kogerent majburiy nurlanish hosil bo'ladi.

LDning nurlanish quvvati 1–100 mVtni tashkil etadi [11]. Rasmdan ko'rinib turibdiki, vatt - amper tavsifi nochiziqdır. Shu sababli, vatt - amper tavsifini chiziqlashtiri-shning maxsus choralarini qo'llamasdan, lazerning injeksiya tokini analog signal bilan o'zgartirish yo'li bilan chiqish nurlanishini modulatsiyalash amaliy qo'llanilmaydi.

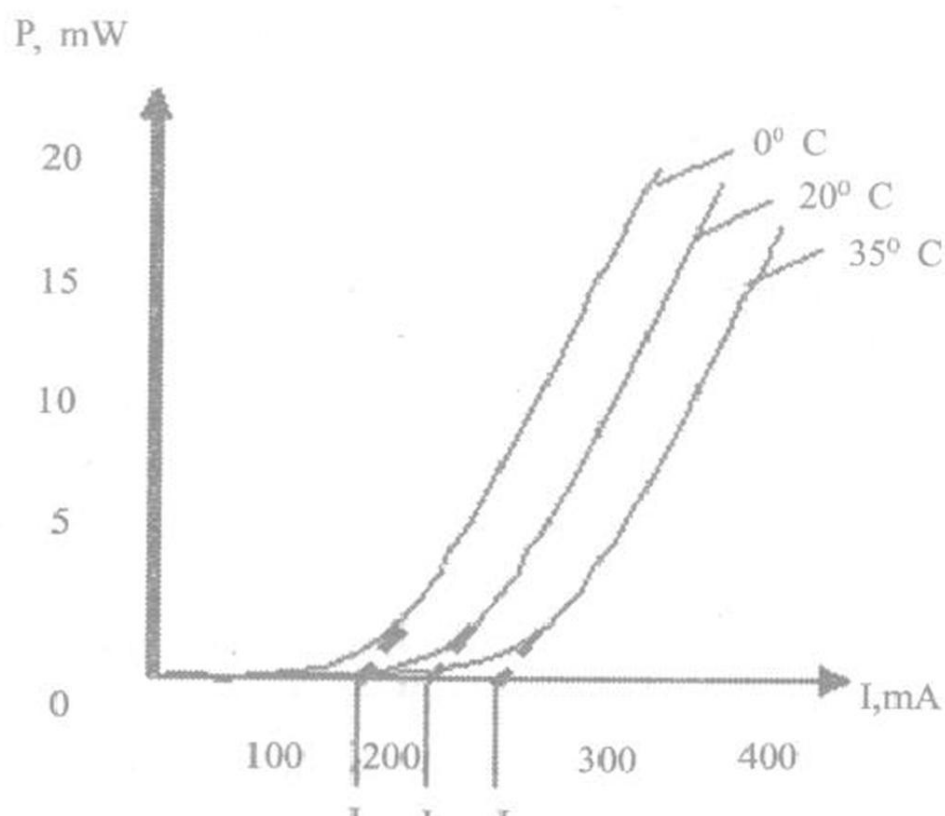
Odatda injeksiya tokini va mos ravishda lazerning chiqish optik quvvatini modulatsiyalash qo'llaniladi. Shuni alohida aytish kerakki, lazer chegaralangan pik quvvatli nurlanish manbayi hisoblanadi. Bu nakachka tokining katta qiymatlarida quvvatni kamayib borishi bilan bog'liq. LD ga xos yana bir muhim xususiyatni aytib o'tamiz: atrof, muhit harorati o'zgarsa, vatt - amper xarakteristikasi suriladi (3.10 - rasm).

Bu chegaraviy tok va chiqish quvvati qiymatlarining o'zgarishiga olib keladi.

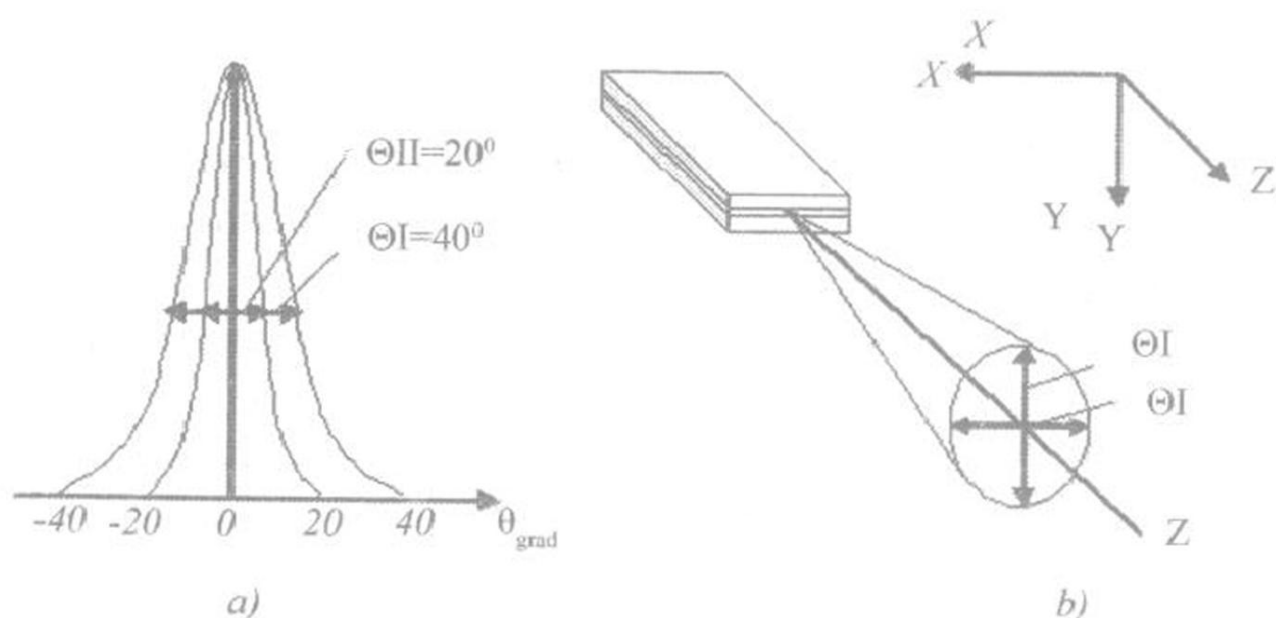
Bu kamchilikni bartaraf etish uchun kompensatsiyalashning elektr sxemalari, shuningdek mikrosovutgichning ishini boshqarvchi, termokompensatsiyalash sxemalaridan foydalaniladi. 3.11 - rasmda LD optik nurlanishining yo'nalganlik diagrammasi ko'rsatilgan.

Rasmdan ko'rinib turibdiki, lazer nurlanishining diagrammasi nosimmetrik.

Quvvatning yarim sathida o'lchanganda uning kengligi o'tishga parallel yuzada 20° dan kichik va perpendikular yuzada 40° dan katta (3.11-a rasm). 3.11-b rasmda o'zaro perpendikular yo'nalishlarda nurlanish quvvatining burchakka bog'liqligi ko'rsatilgan.



3.10-rasm. Lazer diodning vatt-amper xarakteristikasining haroratga bog'liq ravishda o'zgarishi.



3.11-rasm. Optik nurning lazer dioddagi yo'nalganlik diagrammasi: a) parallel va perpendikular yuzalardagi nurlanish kengligi; b) o'zaro perpendikular yo'nalishlarda nurlanish quvvatining burchakka bog'liqligi.

Yoʻnalganlik diagrammasi ellips konus koʻrinishiga ega. Generatsiyalanadigan nurlanishning yetarli katta yoyilganligi, uni kichik sonli aperturali optik tolaga samarali kiritishga toʻsqinlik qiladi.

Buning uchun maxsus moslashtiruvchi qurilmalarni qoʻllash talab etiladi. Magistral TOA liniyalarida asosan signallar 1,3 va 1,55 mkm toʻlqin uzunliklarida uzatiladi. 1,55 mkm toʻlqin uzunligida soʻnish qiymatlari kichik boʻlgani uchun retranslyatsiyasiz ($L=100\text{km}$) uzun uchastkalarda ana shu toʻlqin uzunlikdagi optik uzatish manbalaridan foydalanish samaralidir. Magistral aloqa liniyalari kabellari bir moddali tolalardan iborat boʻlgani uchun ham LDdan foydalanish kerak. Chunki YoD ga qaraganda LDning nurlanishini yoʻnalganlik diagrammasi tor.

Bu nurlanish tolaga kiritishni osonlashtiradi [1]. Rossiyaning «Нолатех» kompaniyasi tomonidan ishlab chiqarilayotgan LDlarning asosiy parametrlari 3.3-jadvalda berilgan. 3.4-jadvalda esa 1 shaffoflikoynasida qoʻllaniladigan LDlarning asosiy parametrlari keltirilgan (11).

LDning turlari.

LDning bir necha turlari mavjud:

- koʻp moddali yoki Fabri-Pero rezonatorli lazerlar;
- bir moddali lazerlar;
- bir moddali taqsimlangan teskari aloqali (DFB) lazerlar;
- taqsimlangan Bregg aks etishli lazerlar;
- tashqi rezonatorli lazerlar.

3.3. KOʻP MODDALI YOKI FABRI-PERO REZONATORLI LAZERLAR

GaAs yoki InP yarim oʻtkazgich turlaridan biri asosida tayyorlangan, kristallning ikki qarama-qarshi koʻndalang kesimiga per-

pendikular bo'lgan $p-n$ o'tishli parallelepiped ko'rinishidagi oddiy LD tuzilishi 3.12-rasmda tasvirlangan.

3.3-jadval

Lazer diodlarning parametrlari

LD turlari	P_0, mW	I_{ch}, mA	I_{ishchi}, mA	To'qin 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
VD- 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

Aks ettiruvchi parallel, ko'ndalang yuzalar Fabri-Pero rezonatorlarini tashkil etadi. Tashuvchilar rekombinatsiyasi o'tish tekisligi yaqinida amalga oshadi va Fabri-Pero rezonatorlari hisobiga musbat teskari aloqa hosil qilinadi. Ko'ndalang yuzalardan aks etish havoning va yarim o'tkazgichning n sindirish ko'rsatkichlarini farqlanishi bilan tushuntiriladi.

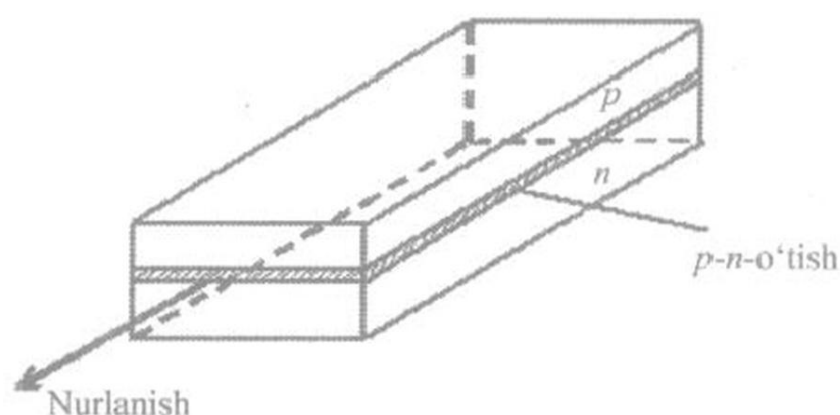
Nomaqbul yoʻnalishlarda generatsiya yuzaga kelmasligi uchun nurlantirmaydigan yuzalarning gʻadir-budirligi taʼminlanib, ularning dagʻallashuviga erishiladi [4].

3.4-jadval

Birinchi shaffoflik oynasi uchun LDlarining asosiy parametrlari

Model	Toʻlqin uzunligi, nm	Chiqish-dagi quvvati, mW	Ishchi tok, mA	Kuchlanish, V	Chegara-viy tok, mA	Spektr uzunligi, nm	Ishchi temperatura, °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-820B	800-870	40-45	70-100	1,8-2,4	20-40	0,1-2	-40+50
ILPN-820V	800-870	30-35	90-140	1,8-2,4	20-40	0,1-2	-40+50
ILPN-820-80	800-870	80-85	120-160	1,8-2,4'	15-40	0,1-2	-40+50
ILPN-820-100	800-870	30-35	90-140	1,8-2,4	15-40	0,1-2	-40+50
ILPN-12-250	808-812	250-300	650-800	1,9-2,2	250-350	0,1-3	-40+50
ILPN-12-500	808-812	500-600	900-1000	1,9-2,2	250-350	0,1-3	-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
ILPN-980B	975-985	100-105	140-200	1,8-2,4	20-40	0,1-2	-40+50



3.12-rasm. *p-n* o'tishli, Fabri-Pero rezonatorli laser diodi.

3.11-rasmda ko'rsatilgandek, nurlanish manbalarining vatt – amper tavsifida injeksiya toki qiymati chegaraviy qiymatga yetib generatsiya, ya'ni laser effekti hosil bo'lganda tuzilishda to'liq optik kuchayish to'liq yo'qotishlarga tenglashadi.

To'liq yo'qotishlar uzunlik birligida α koeffitsiyent bilan tavsiflanadigan ichki yo'qotishlardan va ko'zgudan aks etish koeffitsiyentlari P_1 va P_2 bilan aniqlanadigan, rezonator oxirlaridagi yo'qotishlardan iborat. Rezonatorning L uzunligida generatsiyaning yuzaga kelishi uchun muhit uzunlik birligida quyidagi shart bilan aniqlanadigan S kuch-ayishga ega bo'lishi kerak:

$$S = \alpha + \frac{20}{L} \lg \frac{1}{\sqrt{p_1 p_2}}.$$

Odatda, Ga As asosidagi injeksion lazer uchun $r_1=r_2=0,3$. Tokning chegaraviy zichligini quyidagi ifoda orqali baholash mumkin, A/sm²

$$I_{ch} = \frac{8\pi \cdot 10^4 q n^2 \Delta E_q^2 \Delta E d \gamma}{\eta_{ichki} C^2 h^3} \left(\left(\alpha + \frac{20}{L} \right) \lg \frac{1}{p} \right),$$

bunda ΔE – spontan nurlanish liniyasining energiyasi; d – aktiv soha qalinligi;

ΔE_q – yarim o'tkazgich ta'qiqlangan zonasining energiyasi; γ – muhitning kuchayish koeffitsiyentini haroratli bog'lanishini hisobga oluvchi, ko'paytuvchi.

Gomolazer uchun, uy haroratida generatsiya chegarasiga erishish uchun, I_{ch} ning chegaraviy zichligi 30 ... 100 A/sm² bo'lishi kerak. Bu quyidagi sabablar bilan tushuntiriladi:

1) n turdagi yarim o'tkazgichdan p - n o'tishga injeksiyalanadigan elektronlarning bir qismi, o'zining katta diffuziya uzunligidan aktiv sohaga sakrab o'tadi va induk-siyalangan (majburiy) nurlanishning hosil bo'lish jarayonida qatnashmaydi;

2) aktiv sohadagi rekombinatsiya natijasida hosil bo'lgan nurlanish, o'lchamlari aktiv sohadan oshadigan quyi sifatli yorug'lik o'tkazgichda tarqaladi. Aktiv sohadan tashqarida egallanganlik inversiyasi (инверсия населенности) sharti bajarilmaydi va nurlanish intensiv yutiladi.

Tok zichligining juda kattaligi kristallning ortiq qizib ketishiga va uning tezda buzilishiga olib keladi. Kristall suyuq azot harorati gacha kamaytirilganda lazer uzoq muddat xizmat qilishi mumkin.

Gomolazer misolida faqatgina majburiy nurlanish mexanizminigina ko'rib chiqish mumkin, lekin uni TOA tizimlarida qo'llash amaliy mumkin emas. TOA tizimlari uchun lazer diodi normal

tashqi sharoitlarda modulatsiyalaydigan tok bilan barqaror, mustahkam ishlashi kerak. Tok zichligining tashqi sovitishni talab etmay, kamayishi va boshqa tavsiflarni yaxshilanishi ko'p qatlamli yarim o'tkazgichlar – geterotuzilishlar hisobiga erishilgan. IGT li LDda I_{ch} qiymatini 1...2 A/sm² gacha kamayishiga erishiladi. Agar hamma yuzasi bo'ylab keng kontaktli BGT li va IGT li LD da tok zichligi oshirilsa, u holda generatsiya avval 3...5 mkm kenglikli kichik sohada yuzaga keladi. Tok oshirilishi bilan bunday sohalar ko'payib boradi, ulardan har biri mustaqil generatsiyalanadigandek hisoblanadi.

Bu shovqinlarning ortishiga, nurlanishni nostabilligiga va yoyilib ketishiga olib keladi. Amaliyotda bitta generatsiya kanaliga ega bo'lish maqsadga muvofiq. Bunga rezonator bo'ylab aktiv sohani ingichka poloskaday chegaralash hisobiga erishish mumkin. Bunday LD I_{ch} lar poloska geometriyali lazerlar deyiladi. Ularda I_{ch} tok 500 mA/sm² gacha kamayadi, nurlantiruvchi yuzani kichik sonli apertura – NA li ga optik tolaga nurlanishi samarali kiritishni ta'minlovchi o'lchamlargacha tayyorlash va nurlanish stabilligini oshirish mumkin. Poloskali kontakti bir necha usullar yordamida tayyorlash mumkin. 3.13-rasmda poloskali kontakti tayyorlash misollari keltirilgan. Rasmda ko'rsatilgan tuzilishlarning hammasi n va r turdagi Ga As aktiv qatlamga ega, Ga As li aktiv qatlam bir tomondan r turdagi AlGa As qatlam bilan chegaralangan. P - turdagi AlGa As qatlam boshqa n turdagi chegaralovchi qatlamdan injektsiyalanadigan elektronlar uchun potensial to'siq hosil qiladi. P va n turdagi Ga As qatlamlar omik va issiqlik kontaktlarini yaxshilash uchun mo'ljallangan. 3.13,-a rasm da mezapoloska tuzilishli lazer tasvirlangan.

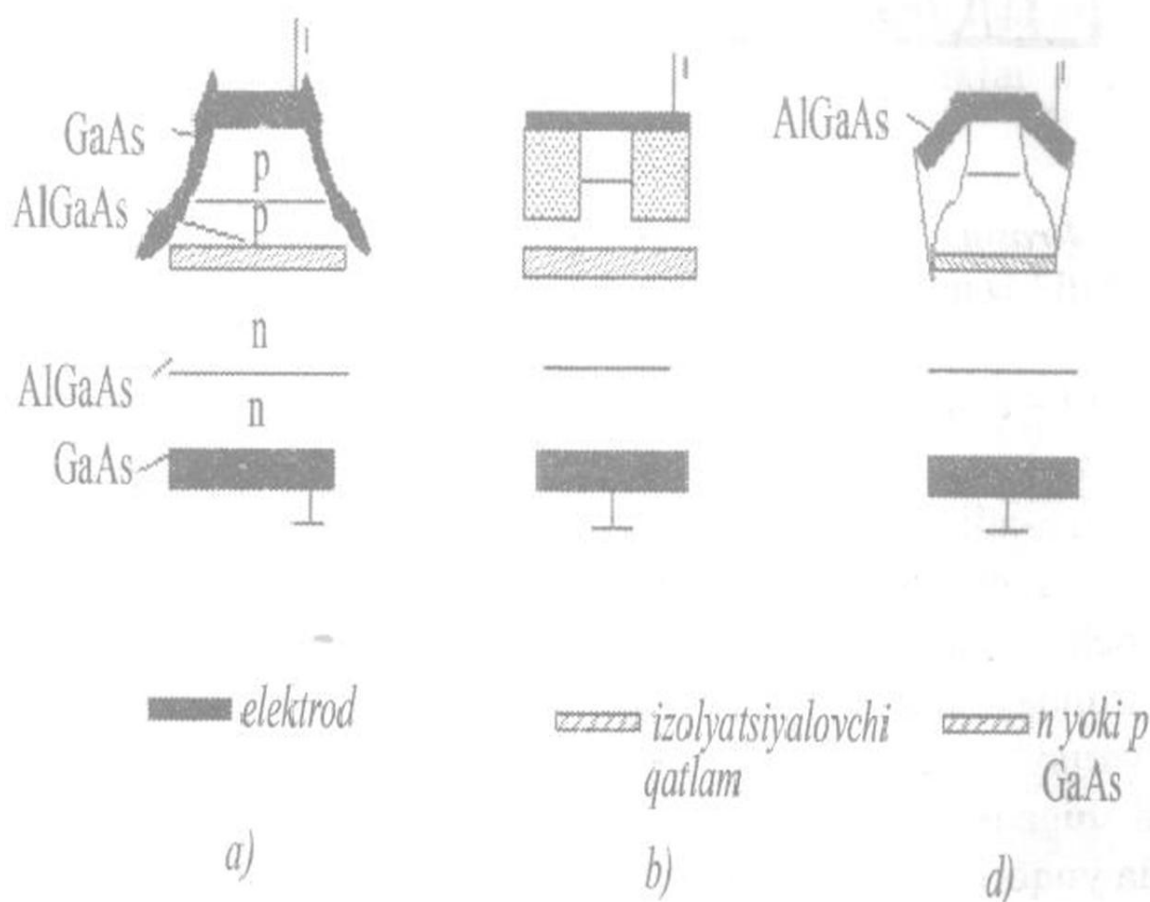
Bunday tuzilish bir necha qatlamlarni yemirish (стравление), so'ng ularni izolyatsiyalash va metall kontakti changitib yuborish bilan hosil qilinadi. 3.13-b rasmda, poloskadan tashqarida aktiv soxani buzadigan, protonli portlatish bilan hosil qilingan poloskali

kontakt tasvirlangan. 3.13,v – rasmda cho‘ktirilgan (погруженный) tuzilishli poloskali kontakt ko‘rsatilgan.

Bunday tuzilish n turdagi qatlarga mezotuzilishlarni cho‘ktirish yo‘li bilan yaratiladi.

Cho‘ktirilgan tuzilishli LD larda chegaraviy tokning kichik qiymatlari ($I_{ch} = 5...10 \text{ mA/sm}^2$) va kichik chiqish quvvatlari ($P_{chiq} = 0,5...2 \text{ mW}$) kuzatiladi.

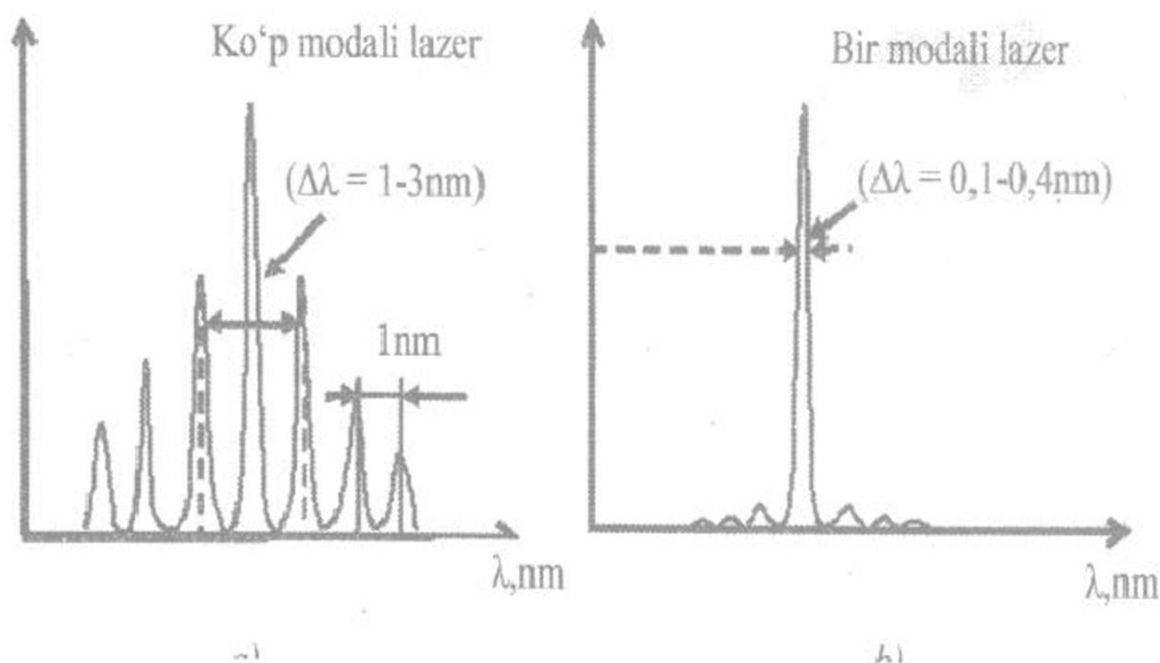
Bunday kichik qiymatlar nurlantiruvchi yuza o‘lchamlarining kichikligi, 1...2 mkm dan oshmasligidandir.



3.13-rasm. Poloskali kontaktni tayyorlash usullari:

a) mezapoloska tuzilishli lazer; b) proton portlatish bilan hosil qilingan kontakt; d) cho‘ktirilgan strukturali lazer.

Fabri-Pero rezonatorli LDlar ko‘p modali lazerlar ham deyiladi. Chunki ular bir necha moddalarni nurlantiradi (3.14-a rasm).



3.14-rasm. Lazer diodlarning nurlanish spektrlari: (a) – ko‘p moddali LD nurlanish spektri; b) – bir moddali LD nurlanish spektri.

3.14 – a rasmdagi katta amplitudali moda – bu to‘lqin uzunligining asosiy moddasi, kichik amplitudali moddalar – yon moddalari hisoblanadi. Yon moddealar orasi taxminan 1 nm ga teng.

Lazer nurlanish modulatsiyasida nafaqat asosiy modda, shuningdek yon moddalar ham modulatsiyalanadi.

Bunday lazerlarda optik nurlanishning to‘liq spektr kengligini yarmi 4 – 5 nm ga teng [6]. Spektrning kengligi dispersiyaning oshishiga olib keladi. Fabri-Pero rezonatorli, ko‘p moddali lazerlar juda yuqori texnik tavsiflarga ega emas.

Lekin tuzilishi sodda bo‘lgani uchun narx-samaradorlik nuqtayi nazaridan, bunday lazerlar juda yuqori tezliklar talab etilmaydigan OA tizimlarida qo‘llaniladi.

Aytib o‘tish joizki, bir moddali nurlanish rejimida bo‘lib, $\Delta\lambda$ kichik bo‘lsa ham uzatish tezligi oshishi bilan Fabri-Pero rezonatorli LD moddalarida quvvatni qaytatdan taqsimlanishi kuzatiladi [1].

Bunda har bir alohida moddani quvvati sezilarli darajada o'zgarishi mumkin. Lazer signali tola bo'ylab uzatilganda, to'liq uzunligiga bog'liq bo'lgan guruhli kechikish (xromatik dispersiya)ni hisobga olsak, moddalar bo'ylab quvvatni taqsimlanishi chiqishda shovqin sathining oshishiga [6] va $\Delta\lambda$ spektrni dinamik kengayishiga (1-2 GHz chastota modulatsiyasida 10 nm gacha) [1] olib keladi. Yuqori tezlikli tizimlarida bu seksiya uzunligini chegaralovchi asosiy omil bo'lishi mumkin [6]. Optik rezonatorlarni tashkil qilish usuli bilan farqlanuvchi, ma'lum darajada oddiy Fabri-Pero rezonatorlarining takomillashuvi hisoblangan boshqa mukammal LDlarda bu kamchiliklar mavjud emas [1].

3.4. BIR MODDALI LAZERLAR

Yuqorida aytib o'tilganidek, ko'p moddali lazerlarda nurlanish spektrining kengligi dispersiya qiymatini oshishiga olib keladi.

Bu kamchilikni bartaraf etish uchun bir moddali lazerlardan foydalanish talab etiladi.

Bir modali lazerlarda modaning o'zini nurlanish spektri tor bo'lib, $\Delta\lambda = 0,1 - 0,4$ nm ni tashkil etadi (3.14 -b rasm).

Bundan tashqari, agar bir moddali lazer to'g'ri sozlangan bo'lsa, unda birinchi yon modda asosiy moddadan juda bo'lmaganda 30 dB ga past bo'lishi mumkin [6].

Taqsimlangan teskari aloqali yarim o'tkazgich lazerlar.

Taqsimlangan teskari aloqali yarim o'tkazgich lazer diodi (TTA-LD, DFB) Fabri-Pero yassi rezonatorining takomillashgan turi bo'lib, ularning ikki qatlami o'rtasida (odatda, n-InP va n-InGaAsP qatlamlari o'rtasida) davriy difraksion panjara joylashgan bo'ladi (3.15-rasm). Bu bilan sindirish ko'rsatkichlarining davriy

bir turda emasligi hosil qilinadi, bu esa to'ldin tarqaladigan aktiv soha qalinligining davriy o'zgarishiga olib keladi.



3.15-rasm. Taqsimlangan teskari aloqali yarim. o'tkazgich lazer.

Teskari aloqa rezonatorlar yuzasi uzunligining bo'yicha taqsimlangan bo'ladi.

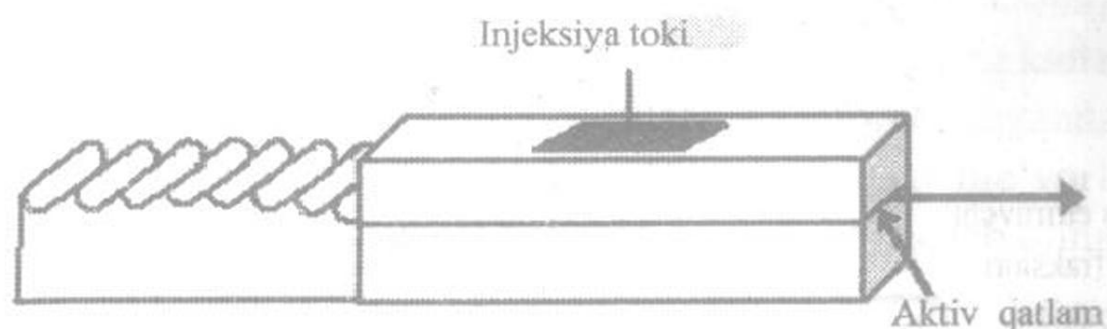
Bu turdagi lazerlarni tuzilishi teskari aloqa mexanizmi evaziga to'ldin uzunligini tanlash imkonini yaratadi. Difraksiya panjara qadami bilan aniqlanadigan, qayd etilgan to'ldin uzunliklaridagina teskari aloqa hosil bo'ladi, ya'ni faqatgina panjara davridan qisqa bo'lgan to'ldin uzunliklar qoladi [4].

Bu bilan rezonatorlarda qo'zg'aladigan moddalar soni kamayadi va faqatgina yuqori quvvatli, qisqa spektrli asosiy moddali signalnigina uzatishga imkoniyat yaratiladi.

Difraksiya panjara diod ichida joylashgan bu turdagi lazerlarni ishlab chiqarish texnologiyasi murakkabdir.

Taqsimlangan Bregg ko'zguli lazerlar. Taqsimlangan Bregg ko'zguli lazerlarda (TBK-LD, DBRlazerlar) difraksiya panjara aktiv sohadan tashqarida joylashtiriladi (3.16-rasm) [1].

Taqsimlangan teskari aloqali yarim o'tkazgich lazerlarga nisbatan bunday lazerlarda yagona asosiy moddaning generatsiyasi odatiy holdir.

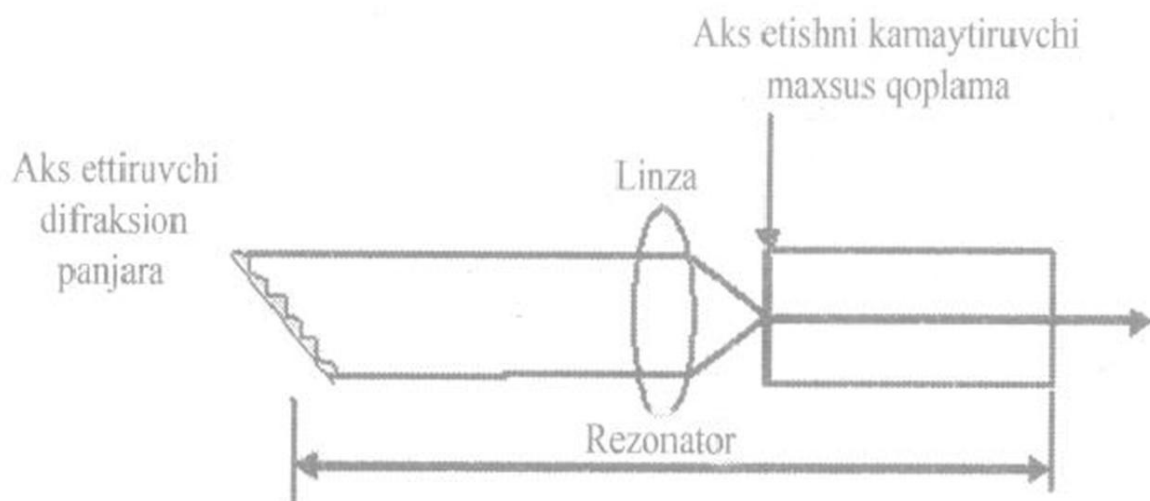


3.16 - rasm. Taqsimlangan Bregg ko'zguli lazer.

Bunday tuzilishli lazerlarda hattoki yuqori tezlikli modulatsiyada ham moddalarni birdan o'zgarishi kuzatil-maydi, aksincha faqatgina bitta asosiy modda hosil bo'ladi. Bu esa taqsimlangan Bregg ko'zguli lazerlarni bir moddali optik tolalarda va kanallari spektr bo'yicha zich-lashtirilgan uzatish tizimlarda nurlanish manbai sifatida ishlatilishiga qulaylik yaratadi [4].

Tashqi rezonatorli lazerlar. Tashqi rezonatorli lazerlarda bir yoki ikkala ko'ndalang yoni aks ettirishni kamaytiruvchi, maxsus qatlam bilan qoplanadi va mos ravishda yarim o'tkazgich aktiv sohasini atrofida bitta yoki ikkita oyna qo'yiladi. 3.17-rasmda bit-ta tashqi rezonatorli lazer ko'rsatilgan. Aks etishni kamaytiruvchi qoplama aks etish koeffitsi-entini taxminan to'rt tartibga kamaytiradi, aktiv qatlamni boshqa ko'ndalang yoni esa 30% gacha yorug'lik oqimini aks ettiradi. Aks ettiruvchi difraksion panjara oyna va difraksion panjaradan tashkil topgan.

Oyna difraksion panjara vazifasini to'ldiradi. Oyna va aktiv element o'rtasida teskari aloqani yaxshilash uchun linza o'rnatiladi. Aks ettiruvchi difraksion panjaragacha bo'lgan masofani oshirib yoki kamaytirib, shuningdek panjarani burish hisobiga panjara qadamini o'zgartirish orqali nurlanish to'lqin uzunligini bir tekisda o'zgartirish mumkin.



3.17-rasm. Bitta tashqi rezonatorli lazer.

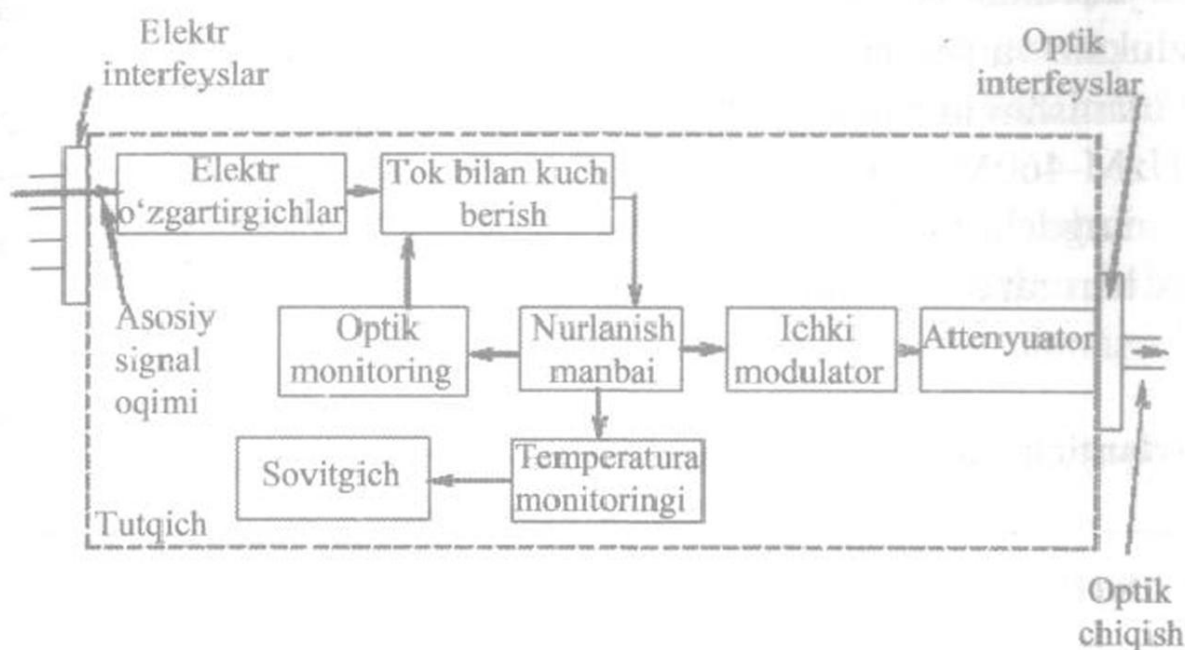
Shuning uchun bunday lazerlar sozlanuvchan lazerlar deyiladi. Bu lazerlarda to‘lqin uzunligini 30 nm oraliqqacha o‘zgartirish mumkin. Tashqi rezonatorli lazerlar spektr bo‘yicha zichlashtirish apparaturalarini va TOA uchun o‘lchov qurilmalarini yaratishda juda kerakli hisoblanadi [1].

3.5. OPTIK SIGNALNI UZATUVCHI MODUL

Optik signalni uzatishni tashkil qilish uchun faqatgina nurlanish manbasining o‘zi yetarli emas. Buning uchun optik signalni uzatuvchi modul (OUzM) ishlatiladi.

OUzMning asosiy vazifasi nurlanadigan yorug‘likni modulyatsiyalash hisoblanadi. OUzMning asosiy tavsiflari quyidagilar hisoblanadi: ishchi harorat diapazoni, nurlanish quvvati, nurlanish to‘lqin uzunligining eng katta qiymati, spektral polasa kengligi, impulsning o‘sish vaqti, xizmat muddati, manba zanjiridagi kuchlanish, chiqishdagi nurlanish quvvatining muhitli taxsimlanishi. Ko‘pgina OUzM 0-80°C haroratda ishlaydi, ammo -40—+70°C

haroratda ishlashga mo'ljallangan modullar ham bor. Shuni aytib o'tish joyizki, optik nurlanish to'liq uzunligining eng katta qiymati odatda 25°C harorat uchun belgilanadi. Harorat oshganda to'liq uzunligi ortadi. Shuningdek, OUzM chiqishidagi me'yorlashtirilgan nurlanish quvvati, yani 25° dagi quvvat 100% deb olinadi.



3.18-rasm. Optik signalni uzatuvchi modul tarkibidagi elementlar
OUzMning turlari va parametrlari.

Optik uzatuvchi modul (OUzM)ning asosiy tarkibiy elementlari bu nurlanish manbai, tok bilan kuch berish zanjiri, haroratni nazorat qilish tizimlari, shuningdek elektrik interfeyslar tuguni va tola bilan moslashish joyi hisoblanadi.

Ba'zan tola bilan optimal bog'lanish uchun qo'shimcha ichki elementlar (attenyuatorlar) talab etiladi. Sovutgich va harorat monitoringi OUzM ichki haroratini stabil ushlab turadi. Murakkab lazerli tizimlar uchun optik signalni chiqish monitoringi qo'shiladi. OUzM-ni umumiy tuzilish sxemasi 3.18-rasmda ko'rsatilgan [1].

OUzM bir necha xorijiy kompaniyalar tomonidan ishlab chiqarilmoqda.

Kichik va o'rta masofali TOA tizimlari uchun Rossiyaning «Nolates» va «Telaz» kompaniyalari tomonidan nurlantiruvchi kesimli (yonidan nurlantiruvchi) YoD asosidagi OUzM lar yaratildi va ishlab chiqarilmoqda. Bu modullarning asosiy parametrlari 3.5-jadvalda berilgan.

3.5-jadvalda berilgan modullar sovitishsiz (ILPNdan tashqari) uzluksiz va shuningdek impuls ish rejimiga ega va YoD ni OT bilan ulanishni ta'minlaydi.

OUzM-460M, OUzM-470M va ILPN-360 modullari tarkibiga shuningdek, impuls modulator i va nurlanish quvvatining parametrik harorat stabilizatsiyasi sxemalari kiradi.

3.5 - jadval

**Nurlantiruvchi kesimli (yonidan nurlantiruvchi) YoD asosidagi
OUzMLarning asosiy parametrlari**

Modul turi	TSD- 1300	TSD- 1550	POM- 460M	POM- 470	ILPN- 360
Ishlab chiqaruvchi	Nolates	«Nolates»	Telaz	Telaz	Telaz
Maksimal uzatish tezligi	160	160	34	155	80
Quvvat, mkW	15-40	15-40	60 (KM) 20 (BM)	25 (KM) 4 (BM)	25 (KM) 4 (BM)
To'lqin uzunligi, nm	1270- 1330	1510- 1560	1250- 1350	1250- 1350	1250- 1350
Yarim quvvat sathida liniya kengligi, nm	30-70	30-70	50	—	—
Front/kesim davomiyligi, ns	—	—	2-3	—	—
Ishchi tok, mA	30-50	30-70	35-70	—	50-70
Ishchi kuchlanish qiymati	1,3-1,7	1,-1,7	4,5-5,5	—	4,5-5,5
Teskari aloqa fototoki, mKA	40	—	—	—	—

Nurlantiruvchi kesimli (yonidan nurlantiruvchi) YoD li (NK YoD) uzatuvchi modullar ko'p moddali (KM) va bir moddali (BM) optik tolalar orqali axborotlarni 10–20 km masofaga uzatini ta'minlaydi.

Ishlab chiqarilayotgan LDlarning OUzMlarning to'liq uzunliklari diapazoni 650 nm dan 1650 nm gacha, modulatsiya tezligi esa 5 GHz gacha. Asosan Fabri-Pero(FP) rezanatorli va taqsimlangan teskari aloqali(TTA, yoki DFB) sxemalar qo'llaniladi. Shuningdek, yangi turlari taqsimlangan

Bregg ko'zguli —TBK (DBR lazerlari) OUzMlar ishlab chiqarilgan. Foydalanish sharoitlariga bog'liq ravishda OUzMlar mikrosovitch bilan va teskari aloqa fotodiodlari bilan yoki ularsiz ishlab chiqarilishi mumkin.

OUzMlar xalqaro standartlarga mos keluvchi korpuslarga joylashtiriladi. Modullar turli manba kuchlanishlariga ega bo'lishlari mumkin. «Nolatrix» va «Telaz», «Dilaz» Rossiya kompaniyalari tomonidan ishlab chiqarilgan OUzMning turlari va param-etirlari mos ravishda 3.6- va 3.7 -jadvallarda keltirilgan.

3.6 -jadval

«Nolatrix»ning LD asosidagi OUzM turlari

Modul turi (Rezonator turi)	OUzM(FP)	OUzM(FP)	OUzM(FP)	OUzM(FP)	OUzM- (DFB)	OUzM(FP)	OUzM(FP)	OUzM (DBR)	OUzM (DBR)	OUzM (DBR)
Modeli raqami	1060	14-1	14M	14-2K	13	18	18-2K	21	22	23
Quvvati, mVt	10-50	1-30	3-10	1-2	1-10	1-30	1-2	3-5	3-5	1-5
Nominal to'liq uzunligi, nm	1060	1300	850	1300	1550	1550	1550	1060	1300	1550

36-jadvalning davomi

Yarim quvvat sathida liniya kengligi, nm	3	3	3	3	0,1	3	3	0,01	0,01	0,005
Chegaraviy tok, mA	12	12	15	10-15	12	15	11-20	50-70	50-70	20-40
Ishchi tok, mA	100	50	50	20-30	35	50	20-40	150	150	50-100
Ishchi kuchlanish, V	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1,7
Teskari aloqa fototoki, mA	40	40	40	40-300	40	40	40	40	40	40
Fotodiod kuchlanish, mA,	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Termoso-vitgich, mA	300	300	300	---	---	300	---	500	500	500
Sovitgich kuchlanishi, V	3	3	3	---	---	3	---	4	4	4

37-jadval

«Telaz», «Dilaz» ishlab chiqargan LD asosidagi OUzMlar

Modul (rezonator) turi	Ishlab chiqaruvchi	Model raqami	Uzatish tezligi, Mbit/s	Quvvati, mVt	Nominal to'liq uzunligi, nm	Liniya kengligi (FWHM), nm	Front/ kesim davomiyligi, ns	Chegaraviy tok, mA	Maksimum ishchi tok, mA	Ishchi kuchlanish, V
OUz-M(FP)	Telaz	460L-1,3	34	0,2-2	1300	5	2-3	t/e	35	5
OUz-M(FP)	Telaz	460L-1,55	34	0,2-2	1550	5	2-3	t/e	35	5

37-jadvalning davomi

OUz-M(FP) P)	Telaz	661	155	0,2-2	1300	5	0,7-1	t/e	120	5
OUz-M(FP) P)	Telaz	662	155	0,2-2	1300	5	0,7-1	t/e	120	3,3
OUz-M(FP) P)	Telaz	671	155	0,2-2	1550	5	0,7-1	t/e	120	5
OUz-M(FP)	Telaz	672	155	0,2-2	1550	5	0,7-1	t/e	120	3,3
OUz-M(FP) FP)	Telaz	663	622	0,2-2	1300	3	0,4-0,7	t/e	120	5
OUz-M(FP)	Telaz	665	622	0,2-2	1300	3	0,4-0,7	t/e	120	3,3
OUzM (DFB)	Telaz	675	622	0,2-2	1550	1	0,4-0,7	t/e	120	5
OUzM (DFB)	Telaz	676	622	0,2-2	1550	1	0,4-0,7	t/e	120	3,3
ILPO 1300	Dilaz	1300	—	5-40	1300	4-8	—	12-30	140	1,1-1,8
ILPO 1550	Dilaz	1550	—	5-40	1550	4-8	—	12-30	140	1,1-1,8
DMPO 131N8	Dilaz	1300	200	1,5	1300	3-6	—	30	—	1,1-1,8
DMPO 155N8	Dilaz	1550	200	1,5	1550	3-6	—	30	—	1,1-1,8
DMPO 131-23	Dilaz	1300	12000	4-9	1300	<6	—	60-90	—	4,5-5,5

Eslatma: hamma modullar -40° dan $+55^{\circ}$ gacha temperatura diapazonida ishlashga mo'ljallangan t/e- taaluqli emas

Nortel Networks xorijiy kompaniyasi tomonidan ishlab chiqarilgan, LD nurlanish manbai asosidagi uzatish modullarining turlari va ularning parametrlari 3.8 -jadvalda keltirilgan (11)

Nortel Networks kompaniyasining OuzMning parametrlari

Modul turi	To'liq uzunligi, nm	Uza-tish tezligi, Mbit/s	Korpus turi	Chiqish quvvati, mV/dBm	Spektr kengligi (FWHM), nm	Impulsning sish/kamayish tezligi, ns	Chega-raviy tok, mA	Maksimal ishchi tok, mA	Maksi-mal ishchi kuchla-nish, V	Ishchi temperatura, °S
LC148-20	1480	10/50	14-but-terfly	1/0	0,4	5	30	37	2	-40... +70
LC151-20	1510	10/50	14-but-terfly	1/0	0,4	5	30	37	2	-40... +70
LCV75 CA/B/C	1310	50-1250	8 mini DIL	0,1... 1/-10...0	2,5	0,5	50	45	1,6	-40... +85
LCV132 CA/B/C	1310	1250-2500	8 mini OIL	0,1...0,5/-10...-3	2,5	0,2	55	55	2	-40... +85
LC131 GC-20A	1310	622-2500	14-but-terfly	2/3	1	0,125	35	150	1,8	-20... +70
LCM 155-64N	1550	2500-10000	12-but-terfly	0,9/0	0,16	0,05	40	275	3,7	-20... +70
LC155 W-20A	1528-1563	622-2500	14-but-terfly	1/0	0,6	0,125	35	150	1,8	-40... +80
LC-155CD	1525-1565	1250-10000	14-but-terfly	20/13	0,16	0,120	40	220	2,7	0... +70
LCM155 W-64	1549-1560	2500-10000	12-but-terfly	0,9/0	0,16	0,05	40	275	3,7	0... +70
LCM155 EW-64	1527-1563	622-10000	12-but-terfly	0,9/0	0,16	0,05	40	275	3,7	0... +70

Eslatma: Modullarning birinchi 2 turi DFB, 3-4-FP, 5-10-DFB sinfiga taalluqli. Modullarning oxirgi 4 turi spektr bo'yicha zichlashtirish tizimlarida qo'llaniladi.

8mini DIL— korpus turi 8(2 x 4) shtirli, mos ravishda korpus turidagi 12, 14 shtirlar sonini bildiradi.

3.6. FOTOQABULQILGICHLARNING ASOSIY TAVSIF VA PARAMETRLARI

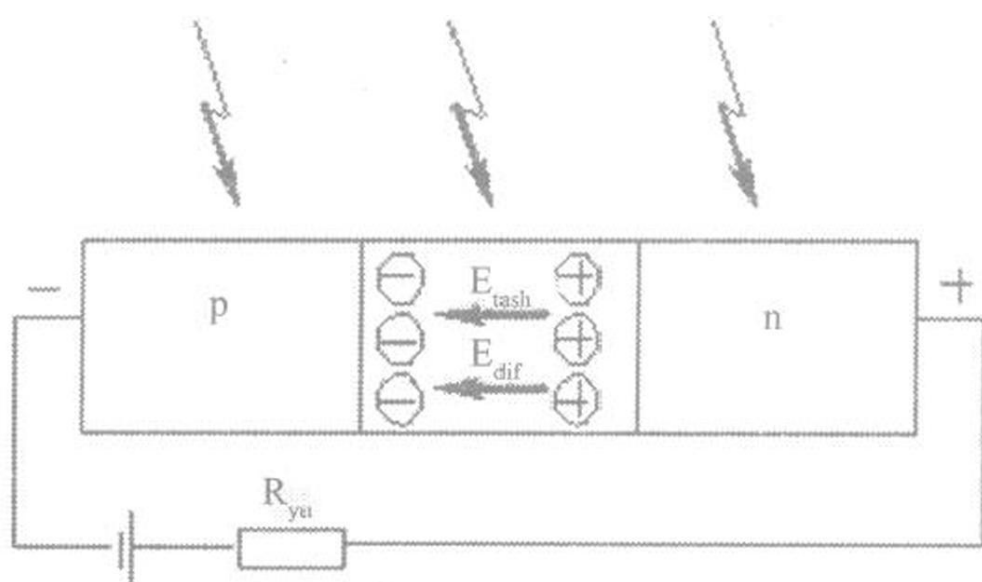
Kirish optik signallarni elektr signallariga aylantirish uchun fotoqabulqilgichlar qo'llaniladi. So'ng bu signallar fotoqa-bulqilgichni elektr qurilmalarida kuchaytiriladi va qayta ishlanadi.

Bu maqsadlar uchun qo'llaniladigan fotoqabulqilgichlar talab etiladigan polosa kengligiga, dinamik diapazonga, sezgirlikka, tola bilan puxta bog'lanish uchun yetarli o'lchamga ega bo'lishi, tashqi muhit o'zgarishlariga sezgir bo'lmasligi, xizmat muddati esa yuqori bo'lishi kerak. Bu talablarga yarim o'tkazgich fotodiodlar (FD) to'liqroq javob beradi.

Yarim o'tkazgich FD ishi ichki fotoeffektga asoslangan bo'lib, bunda yorug'lik fotonini yutilishidan yangi zaryad tashuvchi juftliklari-elektron va kovaklar hosil bo'ladi. Ya'ni foton atom bo'lib yutilib, elektronlarni qo'zg'atadi va elektronlarni valentlik zonasidan o'tkazuvchanlik zonasiga (shaxsiy yutilish) yoki aralashmali sathdan o'tkazuvchanlik sohasiga (aralashmali yutilish) o'tkazadi. Bu o'tishlar elektr signallarning shakllanishiga sharoit yaratib, yarim o'tkazgichning elektrik xarakteristikalarini o'zgartiradi. Yuqori tezkorlik va tushayotgan nurni samarali yutilishi aralashmali yutilish samarasi bilan bog'liq. Shu sababli hozirda OA tizimlari uchun fotodiodlar aralashmali materiallar asosida tayyorlanadi.

Agar aralashma materialli p - va n - turdagi yarim o'tkazgichlar birlashtirilsa, elektron va kovaklar konsentratsiyasining har xilligi tufayli elektronlar diffuziyasi r -turdagi yarim o'tkazgichda, kovaklar diffuziyasi esa n -turdagi yarim o'tkazgichda yuz beradi. Natijada p -yarim o'tkazgich tomonidagi kontakt yaqinidagi soha manfiy zaryadlanadi, n -yarim o'tkazgich

tomonidagi soha esa musbat zaryadlanadi. Bunda kontakt maydon vujudga kelib, u asosiy bo'lmagan tashuvchilarning kelgusi diffuziyasini to'xtatadi, kontakt o'rnida tashuvchilar zaryad tashuvchilardan kambag'allashgan juda ingichka qatlam hosil bo'ladi. Yarim o'tkazgichlarga (3.19-rasm) kontakt diffuzion maydon E_{dif} yo'nalishiga mos keladigan tashqi elektr maydon E_{tash} berilganda zaryad tashuvchilardan kambag'allashgan soha kengayadi. Bu $p-n$ o'tishning teskari siljish holatiga mos keladi [4].



3.19-rasm. Yarim o'tkazgich fotodiodning ishlash prinsipi.

Teskari siljishli $p-n$ -o'tishga R quvvatli va n chastotali yorug'lik oqimi ta'sir qilishini ko'rib chiqamiz. Yorug'lik oqimlari tushganda, $h\nu$ energiyali fotonlar uch holatda yutilib, elektron-kovak juftligini hosil qilishi mumkin:

- 1). zaryad tashuvchilardan kambag'allashgan sohada yutilish;
- 2). P -sohada yutilish; 3). n -sohada yutilish.

Birinchi holatda elektron-kovak juftligi zaryad tashuvchilardan

kambag'allashgan sohada hosil bo'ladi va kuchli elektr maydon ta'siri natijasida juftliklar bo'linib, o'zlarini elektrodlariga, ya'ni elektronlar n -sohaga, kovaklar p -sohaga harakat qiladi.

Tashuvchilarni hosil bo'lishi va harakati tuzilishdagi o'rnatilgan muvozanatni buzadi. Uni tiklash uchun tashqi yopiq zanjir orqali R_{yu} -yuklama qarshiligidan elektr toki oqib o'tadi.

Ikkinchi va uchinchi holatlarda elektron-kovak juftligi p -va n -sohalarda hosil bo'ladi.

Bu sohalarda elektr maydon amalda mavjud emas, natijada tashuvchilarni o'tishga harakati asosan faqatgina diffuziya hisobiga bo'lishi mumkin. Agar $p - n$ -o'tishgacha bo'lgan masofa diffuziya uzunligidan katta bo'lsa, unda zaryad tashuvchilardan kambag'allashgan sohaga borishga ulgurib yetmay, hosil bo'lgan juftliklar rekombinatsiyalanib bo'ladi.

Agar bu masofa kichik bo'lsa, katta ehtimollik bilan juftliklar zaryad tashuvchilardan kambag'allashgan sohaga yetib boradi va kuchli elektr maydon ta'sirida elektron (yoki kovak) tezda zaryad tashuvchilardan kambag'allashgan soha orqali boshqa sohaga qarab harakat qiladi, kovak (yoki elektron) p -(yoki n -) sohada qoladi.

Tashuvchilar $p-n$ - o'tishni kesib o'tganda ham muvozanat buziladi, oqibatda R_{yu} orqali oqib o'tuvchi elektr toki hosil bo'ladi.

Shu tarzda $h \cdot \nu$ energiyali yorug'lik kvantining yutilishidan diodni tashqi zanjiri bo'ylab elektr toki impulsi oqib o'tadi. Agar har bir yutiladigan kvant elektron-kovak juftligini hosil qilsa va tok tashuvchilari $p - n$ -o'tish tekisligini kesib o'tsa, R_{yu} orqali oqib o'tuvchi

I elektr tokining o'rtacha qiymati quyidagicha aniqlanadi:

$$I = q \cdot N = q (P / h \cdot \nu), \quad (3.4)$$

bunda q – tashuvchi elektron zaryadi, $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Kl;

N – tashuvchilar soni;

P – optik nurlanish quvvati, W;

$h \cdot n$ – kvant energiyasi, W·s yoki KW · soatda o‘lchanadi.

Elektronlarni valent zonadan o‘tkazuvchanlik zonaga o‘tishi uchun yutilayotgan kvant yenergiyasi yetarlicha bo‘lishi kerak, ya’ni $h \cdot \nu$ kvant energiyasi taqiqlangan soha kengligidan katta $h \cdot \nu \geq E_g$ bo‘lishi kerak.

Yutiladigan yorug‘lik kvantlarining hammasi ham elektr toki impulslarini hosil qilmaydi.

Shuning uchun fotodiodlar, fotonlarni elektr tokiga aylanish samaradorligini xarakterlovchi η – **kvant samaradorligi** koeffitsiyenti bilan baholanadi [4].

Kvant samaradorligini hisoblash formulasi:

$$\eta = 1,24 \cdot 10^5 S / \lambda, \%, \quad (3.5)$$

bunda S – sezgirlik, A/W; λ – optik signal to‘lqin uzunligi, nm.

Shu tarzda umumiy holda R_{yu} orqali o‘tayotgan elektr tokining o‘rtacha qiymati quyidagi formuladan topiladi:

$$I = \lambda q (P / h \cdot f) = S \cdot P. \quad (3.6)$$

Yuqori sifatli kremniy fotodiodlarining kvant samaradorligi 80 % yetishi mumkin.

Lekin fotodiodlarni kvant samaradorligini 100% bo‘lishiga erishib bo‘lmaydi [6].

Turli yarim o‘tkazgich FD materialлари uchun maksimum kvant samaradorligiga erishiladigan to‘lqin uzunliklari 3.9-jadvalda berilgan [1].

3.20-rasmda esa kvant samaradorligining to‘lqin uzunligiga bog‘lanishi ko‘rsatilgan [1].

Kvant samaradorligi bilan bir qatorda sezgirlik va vaqt doimiysi

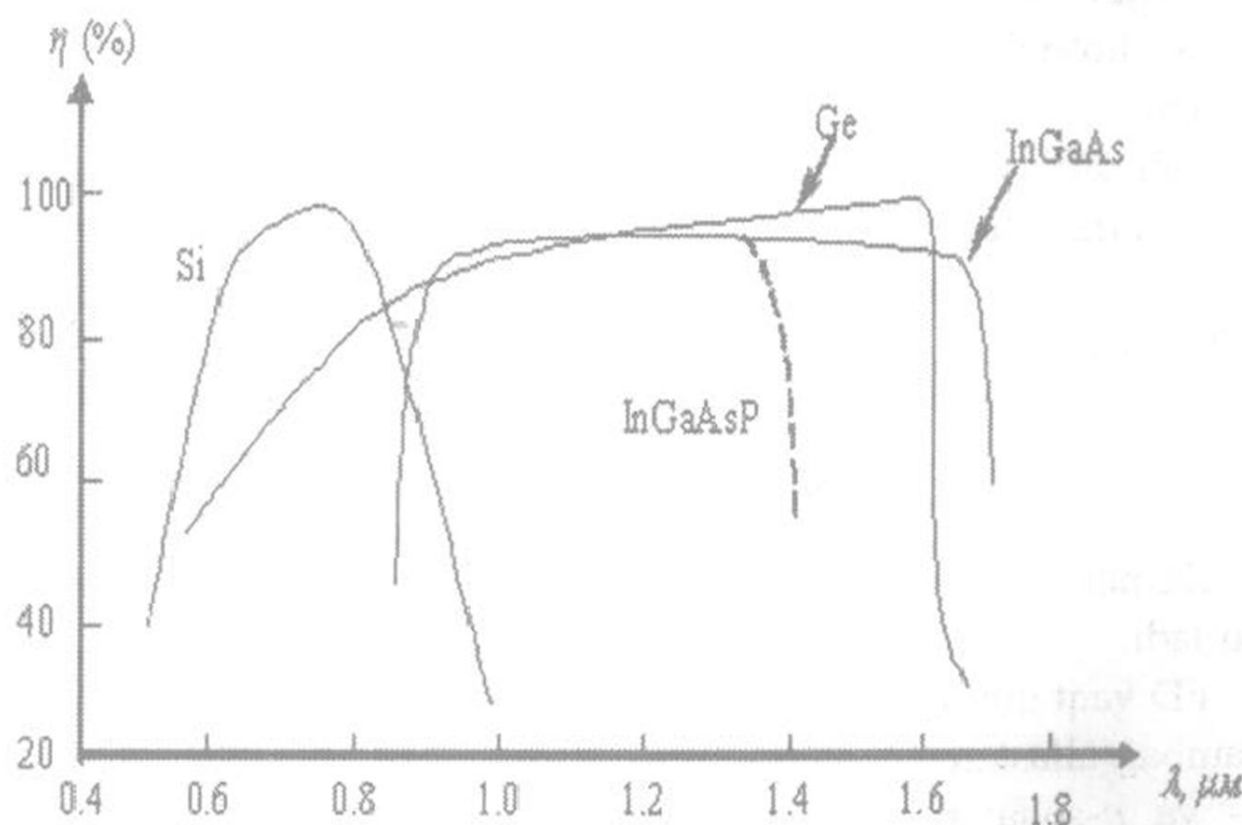
fotoqabulqilgichlarning asosiy xarakteristikalari hisoblanadi.

3.9-jadval

Turli to'liqin uzunliklari fotoqabulqilgichlarini yaratish uchun qo'llaniladigan elementlar va materiallar

Material	Qabul qilinadigan to'liqin uzunliklar diapazoni, λ nm
Kremniy	400-1000
Germaniy	600-1600
GaAs	800-1000
InGaAs	1000-1700
InGaAsP*	1100-1600

*-aralashmalar qo'shish, legirlash darajasiga bog'liq



3.20-rasm. Turli materiallar uchun kvant samaradorligining to'liqin uzunligiga bog'lanishi.

Fotodiod sezgirligi - S bu yorug'lik quvvatini elektr tokiga aylantirishdagi to'liq foydali ish koeffitsiyentidir (FIK), ya'ni fototok I o'rtacha qiymatining optik quvvat P o'rtacha qiymatiga nisbatidir, A/W [4]:

$$S = I/R, \quad (3.7)$$

yoki (9.4) ni hisobga olganda

$$S = \eta(q/h \cdot f).$$

Bundan ko'rinib turibdiki, aktiv sohada yutiladigan yorug'lik oqimlari qancha ko'p bo'lsa, ya'ni η -kvant samaradorligi qancha yuqori bo'lsa, sezgirlik ham shuncha yuqori bo'ladi.

Vaqt doimiysi τ -foto qabul qilgichning tezkorligini xarakterlaydi va u ko'pgina parametrlarga: zaryad tashuvchilardan kambag'allashgan soha kengligiga, to'lqin uzunligiga, shuningdek tashuvchilar diffuziya oqibatidami yoki elektr maydon ta'sirida harakat qilyaptimi, shularga bog'liq.

τ bilgan holda FD o'tkazish polosasi kengligini Δf_{ot} aniqlash mumkin:

$$\Delta f_{ot} = 0,4 / \tau. \quad (3.8)$$

Demak, τ qancha kam bo'lsa, o'tkazish polosasi shuncha yuqori bo'ladi,

FD vaqt doimiysi τ diffuziya vaqtiga va zaryad tashuvchilardan kambag'allashgan sohadan o'tish vaqtiga bog'liq. Shuning uchun p - va n -sohalarning, shuningdek zaryad tashuvchilardan kambag'allashgan sohaning o'lchamlari muhim hisoblanadi. Kelayotgan nurni zaryad tashuvchilardan kambag'allashgan sohada to'liq yutilishi, kvant samaradorligini oshirish maqsadida p -va n -sohalar

ingichkaroq, zaryad tashuvchilardan kambag'allashgan soha esa kengroq qilib ishlab chiqariladi.

Bu p - va n -sohalarga aralashmalarni ko'proq qo'shish, ya'ni yuqori legirlash, zaryad tashuvchilardan kambag'allashgan sohani esa kamroq legirlash yordamida amalga oshiriladi [1]. p - va n -sohalarga fotonlar tushganda diffuziya toki hosil bo'ladi, bu esa FD tezkorligini kamaytiradi.

Lekin, zaryad tashuvchilardan kambag'allashgan sohaning o'lchamini kengligi, bu sohadan tashuvchilarni o'tish vaqtini oshiradi. p - i - n turdagi diodlarda zaryad tashuvchilardan kambag'allashgan soha kengligi 20 mkm atrofida bo'ladi [6].

FD ni xarakterlovchi eng muhim ko'rsatkichlardan biri bu shaxsiy shovqinlar sathi hisoblanadi. Shovqinlar regeneratsiyalash punktlari orasidagi masofaga ta'sir qiladi.

FD da doimiy oqib o'tadigan tok qiymati I_0 bilan shartlanadigan drob shovqinlari asosiy shovqin omili hisoblanadi. Drob shovqinlarining toki:

$$I_{dr.sh} = \sqrt{2 \cdot q \cdot I_0 \cdot \Delta v} = \sqrt{2 \cdot q \cdot I_0 \cdot B}, \quad (3.9)$$

bunda q – elektron zaryadi;

I_0 – FDdan doimiy oqib o'tuvchi tok qiymati; Dn -chastota polosasi kengligi;

B -uzatish tezligi.

OA tizimlarida p - i - n FD va ko'chkisimon FDlar keng tarqalgan.

3.7. p - i - n fotodiodlar

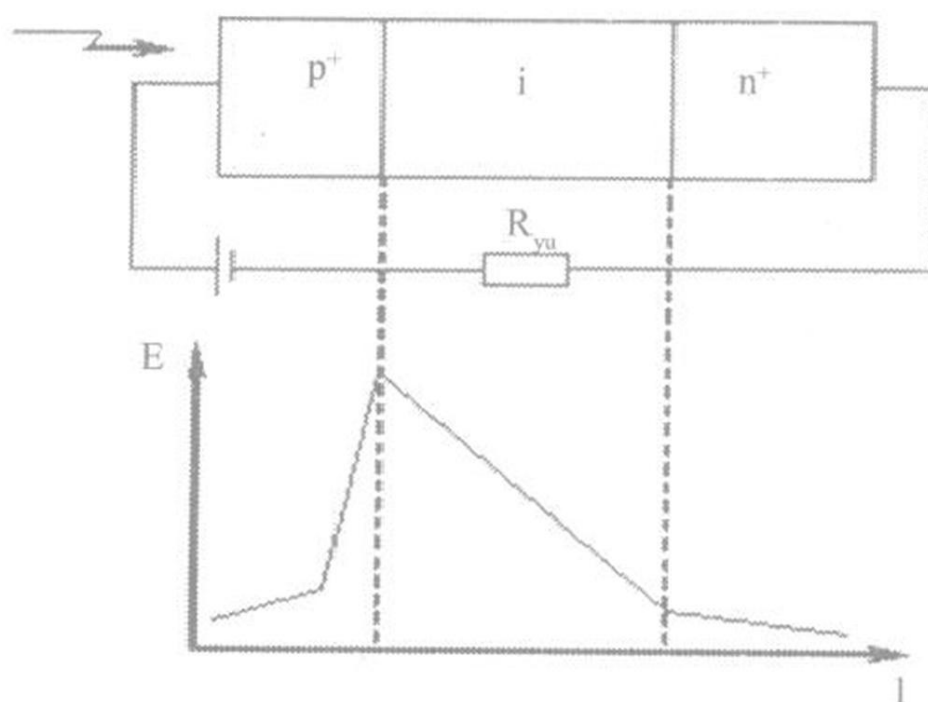
p - i - n FD tezkorligi va parametrlarining barqarorligi bilan ajralib turadi. p - i - n FD tuzilishi (10.1-rasm) odatdagi p - n FD dan farq qiladi. p - i - n FDda p^+ - va n^+ - sohalarni aralashmalar bilan legirlanishi juda yuqori (+yuqori legirlanishni bildiradi), bu p^+ va n^+ sohalarning o'tkazuvchanligini oshiradi. i -sohaga esa aralashmalar kamroq qo'shiladi.

Elektr maydonning maksimal qiymati i –sohada hosil bo‘ladi. p - i - n tuzilishga teskari siljishli U_0 kuchlanish beriladi. Yorug‘lik

i –sohaga tushganda, unda elektron-kovak juftligi hosil bo‘ladi.

Elektr maydon ta‘sirida ular tezda bo‘linib va qarama-qarshi yo‘nalishlarda o‘zlarini elektrodlariga qarab harakatlanishadi.

Elektrodlarni egallab, elektr toki hosil bo‘ladi. p - i - n FD tuzilishi i –sohadan tashqarida nurlanish yutilishini keskin kamaytiradi (3.21-rasm) [4].



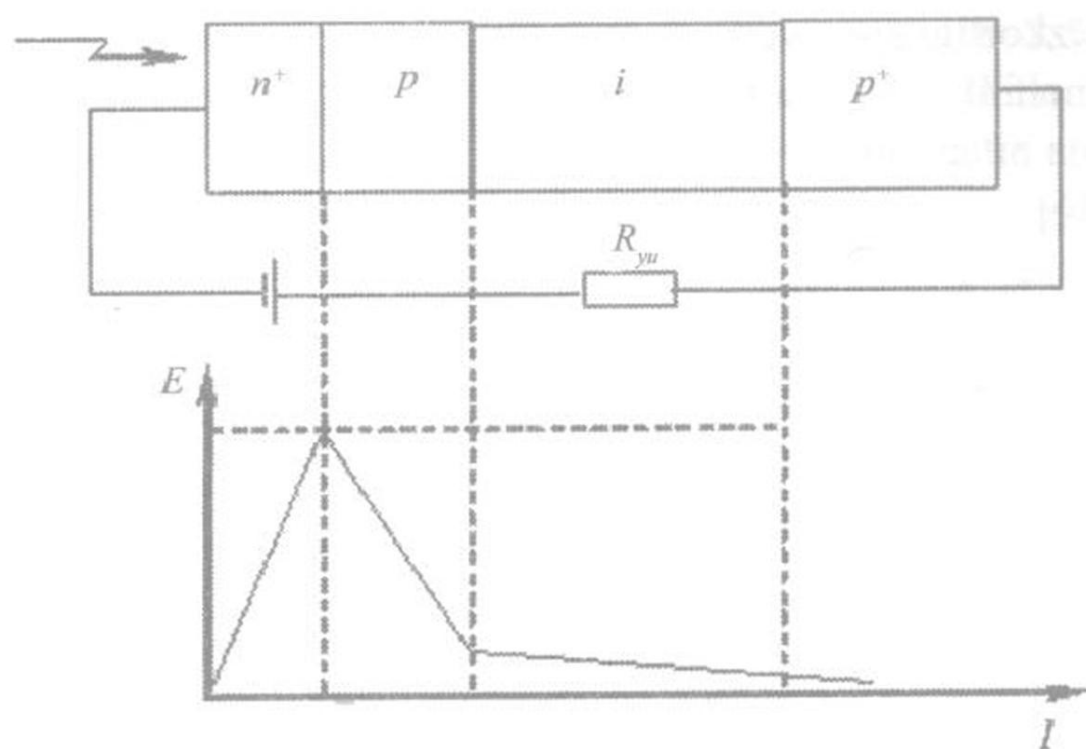
3.21-rasm. p - i - n turdagi fotodiod va elektr maydon kuchlanganligining taqsimlanishi.

3.8. Ko‘chkisimon fotodiodlar

Ko‘chkisimon fotodiodlarni odatiy FDdan asosiy farqi ko‘chkisimon elektron ko‘payishga asoslangan holda signallarning ichki kuchayishi hisoblanadi. Ko‘chkisimon FDda p^+ - i - n^+ tuzilishga p -soha (p^+ - i - p - n^+) qo‘shiladi (3.22-rasm) [4].

p -soha eng yuqori qarshilik, shuningdek eng yuqori elektr maydon kuchlanganligiga ega bo‘lishi kerak. i -sohaga yorug‘lik ta‘sir

qilganda elektron-kovak juftliklari hosil bo'ladi va ular bo'linib, elektrodnlarga tamon harakat qiladi. Erkin elektronlar i -sohadan p -sohaga tushganda, p -sohadagi yuqori elektr maydon kuchlaniligi tufayli ular tezlashadi. p -sohani o'tkazuvchanlik zonasida tezlashgan va yetarlicha energiyaga ega bo'lgan bu dastlabki elektronlarni atomlar bilan urilishidan, ya'ni zarb ionlanish tufayli yangi elektron-kovak juftliklari hosil bo'ladi.

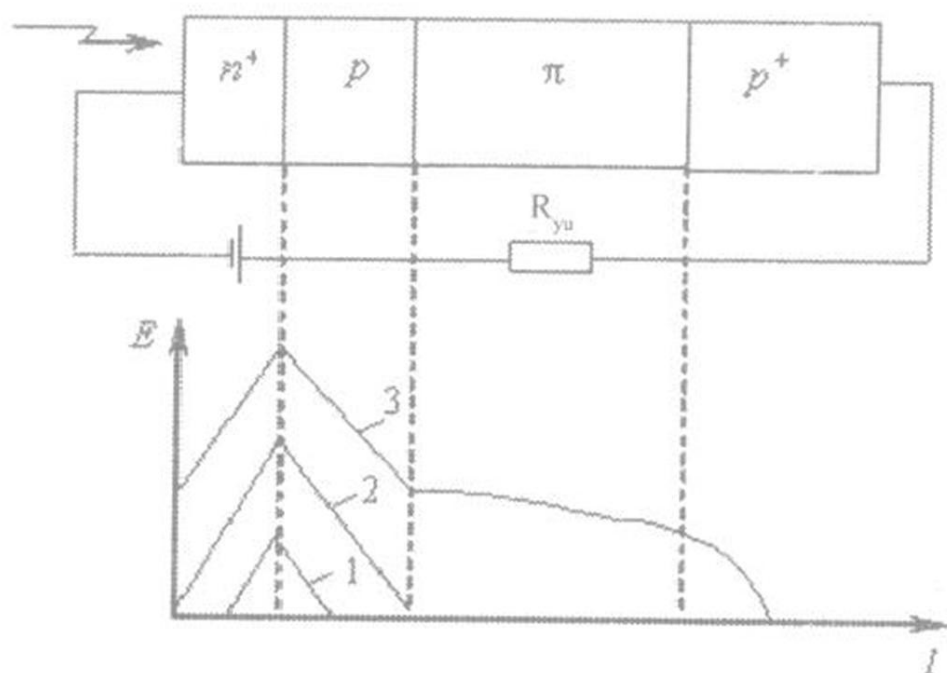


3.22-rasm. Ko'chkisimon FD tuzilishi va elektr maydonining taqsimlanishi.

Natijada dastlabki elektron-kovak juftligi hosil qilgan elektr toki ko'chkisimon tarzda oshadi. Shuning uchun bu jarayon birlamchi fototokni ko'chkisimon ko'payishi yoki kuchayishi deyiladi [1]. Fototokni bunday oshishi M -ko'chkisimon ko'payish koeffitsiyenti bilan xarakterlanadi. U holda ko'chkisimon FD chiqishidagi tok qiymati (3.7) dan aniqlangan qiymatdan yuqori bo'ladi [4].

$$I_{K.FD} = M \frac{\eta \cdot q}{h \cdot \nu} R. \quad (3.10)$$

Ko'chkisimon FDlarda M ga proporsional holda kuchayadigan, foydali signaldan farqli ravishda shovqin tezroq kuchayadi. Shuning uchun ko'chkisimon ko'payish koeffitsiyenti M qiymati optimal, odatda 30, dan 100 gacha oraliqda tanlanadi. M oshgan sari, ko'chkisimon FD tezkorligi kamayadi [1]. Kremniyli ko'chkisimon FDlarda $M=100$ da vaqt doimiysi taxminan 3 martaga oshadi, ya'ni tezkorligi kamayadi, shunchaga o'tkazish polosasi kamayadi. Bu kamchilikni i -sohani kuchsiz legirlangan, bir necha mikrometrli π -soha bilan almashtirish orqali bartaraf etish mumkin (3.23-rasm) [4].



3.23-rasm. π -sohali ko'chkisimon FD tuzilishi va elektr maydonning taqsimlanishi.

3.23-rasmda π -sohali ko'chkisimon FD da elektr maydoni quyidagicha taqsimlangan:

1 – egri chiziq elektr maydon o'tish doirasida va ko'chkisimon ko'payish yuzaga kelgan holatga mos keladi;

2 – egri chiziq elektr maydon p -soha chekkasiga yetgan holatni bildiradi;

3 – egri chiziq elektr maydon π -sohaga kirganligini ko'rsatadi va shu sohada generatsiyalanadigan tashuvchilarni ajratadigan maydon yaratiladi.

Bunday π -sohali ko'chkisimon FD lar $p-i-n$ FD lar singari vaqt doimiysiga va ko'chkisimon FD lar kabi ichki kuchayishga ega [4]. Ko'chkisimon FD larni sezgirligi $p-i-n$ FD lardan ancha yuqori bo'lib, ishchi diapazonda 20-60 A/W ni tashkil etadi. Ko'chkisimon FD larni sezgirligi yuqori bo'lganligi uchun ular 2,5 va 10 Gbit/s yuqori tezlikli tizimlarda qo'llaniladi. $p-i-n$ FD lardan esa kichik tezlikli (< 622 Mbit/s) tizimlarda foydalaniladi.

2,5 Gbit/s li TOA tizimlarida JnGaAs/JnP ko'chkisimon FD lardan foydalanish $p-i-n$ FD lardan foydalanishga nisbatan 7 dB va 10 Gbit/s tezlikda esa 5-6 dB yutuqqa olib kelishi mumkin [6].

Ko'chkisimon FD $p-i-n$ FD ga qaraganda yuqori ishchi kuchlanishni talab etadi va ko'payish koeffitsiyentini haroratga sezgirligi yuqori. Bu esa kerakli ishchi kuchlanishni ishlab chiqaruvchi maxsus elektr zanjirlarni, shuningdek harorat barqarorligini ta'minlovchi tizimlarni qo'llanilishini talab etadi [1].

Nazorat savollari:

1. YoD ning qanday turlarini bilasizlar va ularning farqi nimada?
2. YoD va uning ish prinsipini tushuntiring.
3. Nurlantiruvchi yuzali (sirtidan nurlantiruvchi) YoDning tuzilishi va xususiyatlarini tavsiflang.
4. Nurlantiruvchi kesimli (yonidan nurlantiruvchi) YoD ning tuzilishi va xususiyatlarini tavsiflang.
5. YoDning vatt-amper, volt-amper, va spektral xarakteristikalarini tushuntiring.
6. YoD nurlanishining yo'nalganlik diagrammasi va uni yaxshilash usullarini ta'riflang.
7. Nima sababli geterotuzilishlar qo'llaniladi?

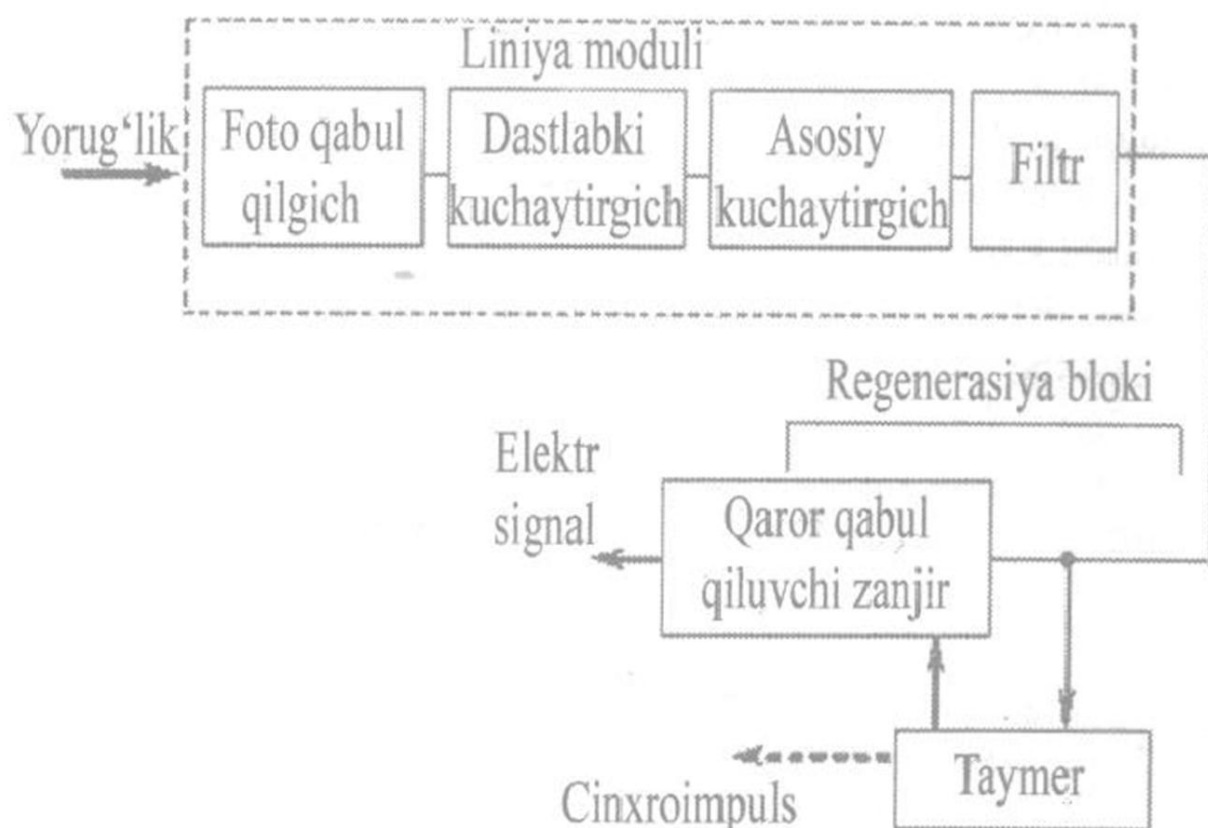
8. IGT – ikki tomonlama chegarali geterotuzilish qanday xususiyatlarga ega?
9. Optik signalni uzatuvchi modul (OUzM)ning vazifasi nimadan iborat?
10. Optik signalni uzatuvchi modul(OUzM)ning tuzilishi va bloklari vazifasini tushuntiring.
11. Optik signalni uzatuvchi modul(OUzM)da harorat mo'tadilligini ta'minlash uchun qaysi bloklar qo'llaniladi?
12. Yarim o'tkazgichli yorug'lik diodi va lazer diodi xarakteristika va ish prinsiplari bilan bir-biridan qanday farqlanadi?
13. LDning ish prinsipini tushuntiring.
14. LDning qanday turlari mavjud, ular qanday xususiyatlarga ega?
15. Nima uchun yuqori tezlikli OA tizimlarida LD ishlatiladi?
16. Ko'p moddali va bir moddali LD nurlanish spektrlarining farqi nimada?
17. Bir modali LDdan qachon foydalaniladi?
18. Fotoqabulqilgichlariga qanday talablar qo'yiladi?
- 19 Yarim o'tkazgichli FDning ish prinsipini tushuntiring.
- 20 Fotoqabulqilgichlar qanday yarim o'tkazgich materiallardan tayyorlanadi?
21. Fotodiod qanday asosiy parametrlar bilan tavsiflanadi?
22. p-i-n FDlar qanday parametr va xususiyatlar bilan xarakterlanadi?
23. p-i-n FDning tezkorligi va sezgirligini ta'riflang.
24. Ko'chkisimon FD qanday alohida xususiyatlar bilan xarakterlanadi?

4. OPTIK ALOQA TIZIMLARI

4.1. OPTIK SIGNALNI QABUL QILUVCHI MODUL

Optik signalni qabul qiluvchi modul (OQQM) TOA tizimining muhim elementi hisoblanadi. Uning vazifasi toladan qabul qilingan optik signalni elektr signaliga aylantirish bo'lib, so'ng bu signallarga elektr qurilmalar yordamida ishlov beriladi.

OQQMni soddalashtirilgan blok sxemasi 4.1-rasmda ko'rsatilgan. Uning asosiy elementlari:



4.1-rasm. Raqamli optik qabul qiluvchi modulning funktsional elementlari.

- foto qabul qilgich (*p-i-n* FD yoki ko'chkisimon FD) qabul qilingan optik signallarni elektr signallariga aylantiradi;

- elektr kuchaytirgichlar kaskadi, signalni kuchaytiradi va unga ishlov berish uchun kerakli ko'rinishga o'zgartiradi. Signallar bir yoki bir necha bosqichlarda kuchaytiriladi. Birinchi bosqichdagi kuchaytirgich, dastlabki kuchaytirgich deyiladi. Beradigan shovqin sathining kichikligi uning xususiyati hisoblanadi;

- asosiy kuchaytirgich.

Dastlabki kuchaytirgichdan so'ng signal yuqori quvvatli asosiy kuchaytirgichda kuchaytiriladi;

- filtr signal shovqin nisbatini oshirib, shovqinlarni kamaytiradi;

- qabul qiluvchi zanjir. Dispersiya tufayli qabul qilingan impuls oxirlari chizilib boshlang'ich to'g'ri burchakli ko'rinishni yo'qotish mumkin.

To'g'ri burchakli boshlang'ich ko'rinishni tiklash uchun qaror qabul qiluvchi zanjir yoki diskreminator o'rnatiladi. U chegaraga ega bo'lib, agar unga tushgan signal amplitudasi chegaradan kichik bo'lsa, unda signal hal bo'lmaydi, agar chegaradan oshsa, unda chiqishida ma'lum amplitudali signal hosil bo'ladi. Bunda impuls uzunligi buzilishi, shovqinni foydali signal deb xato qaror qabul qilishi kabi kamchiliklar bo'lishi mumkin. Bu kamchiliklarni bartaraf etish uchun diskreminator impulslar ketma-ketligi chastotasi haqidagi axborotga ega bo'lishi kerak;

- taymer, yuqoridagi kamchiliklarni bartaraf etib, sinxronizatsiyani, ya'ni optik uzatuvchi va qabul qiluvchi modullarni sinxron ishlashini ta'minlanadi [1].

4.2. RAQAMLI TOLALI OPTIK ALOQA TIZIMLARINING LINIYA TRAKTI

Optik nurlanishni berilgan to'lqin uzunligida uzatuvchi va kabledagi so'nishlarni yo'qotishni, dispersiya tufayli buzilgan

signallarni to'g'rilashni, berilgan shovqindan himoyalanganlikni ta'minlovchi optik aloqa liniyasining texnik qurilmalar yig'indisi optik liniya trakti deyiladi.

Optik signallar tola bo'ylab uzatilganda yorug'lik nurini optik tola materialida yutilishi va sochilib ketishidan so'nadi. Dispersiya esa signalning spektral va modda tashkil etuvchilarini vaqt bo'yicha sochilib ketishiga, 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 uzatgich 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 signallarni uzatish sifati minimal ruxsat etilgan signal-shovqin nisbati yoki shovqindan himoyalanganlik bilan baholanadi. Raqamli uzatish tizimlarini analog uzatish tizimlariga qaraganda bir qancha afzalliklarga egaligi sababli raqamli TOA tizimlarini 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 chastota oralig'i (yoki uzatish tezligi) bir necha marta katta. Bu optik tashuvchilarni juda ham yuqori chastotaga (10^{15} Hz gacha) egaligi bilan tushuntiriladi. Optik kabellarda so'nish juda kichikligi ($l=1,55$ mkm da $\alpha=0,2$ dB/km gacha) sababli regener atorlar orasidagi masofa 100 km gacha bo'lishi mumkin. Bu ham optik liniya traktining ahamiyatli tomonidir.

4.3. RETRANSLYATORLAR AV ULARNING TURLARI

Talab etiladigan signal-shovqin nisbatini, ya'ni shovqindan himoyalanganlikni ta'minlash maqsadida raqamli TOA liniyalarida retranslyatorlar joylashtiriladi. Retranslyatorlar ikki turga bo'lina-di:

1. Regeneratorlar;
2. Optik kuchaytirgichlar.

Dispersiya ta'siri uncha katta bo'lmagan, "0" ni "1" dan farqla-sa bo'ladigan holatlardagina optik kuchaytirgichlaridan foydala-niladi. Kuchaytirgichlar signal shaklini tiklamaydi, faqat so'ngan signallarni kuchaytiradi va qabul qilingan signalga qo'shimcha shovqinlar beradi. Shuning uchun ularning soni berilgan shovqin-dan himoyalanganlik (xatolik koeffitsiyenti) va dispersiyaning rux-sat etilgan qiymatlarini hisobga olgan holda chegaralanadi.

Raqamli regeneratorlarda signallar nafaqat kuchaytiriladi, balki to'g'rilanadi ham.

Signallarni kuchaytirish, boshlang'ich shaklini tiklash, to'g'rilash, shovqinlarni bartaraf etish regeneratsiyalash deyiladi. Regeneratsiyalash regeneratorlarda amalga oshiriladi. Regenera-torni uzatuvchi va qabul qiluvchi optik modullar va regeneratsi-yalash bloki yig'indisi sifatida ko'rish mumkin.

Spektr (to'lqin) bo'yicha zichlashtirish usulida optik kuchaytir-gichlarning vazifasi keskin ortadi.

Chunki optik kuchaytirgichlar turli optik tashuvchili bir necha optik signallarni bir vaqtda kuchaytiradi.

Hattoki, bu hollarda ham, dispersiya tufayli signallarni buzil-ishiga va shovqinlarga qo'yiladigan talablar bajarilmaydigan oraliq stansiyalarda va oxirgi stansiyalarda regeneratorlarni o'rnatish shart.

Regenerator va optik kuchaytirgichlarning taqqosiy xarakteristi-kalari 4.1-jadvalda berilgan.

**Regenerator va optik kuchaytirgichlarning qiyosiy
xarakteristikalar**

Xarakterisikasi	Regenerator	Optik kuchaytirgich
Tuzilishi	Murakkab	Oddiy
Narxi	Arzon	Qimmat, ammo tushayapti
Puxtaligi	Yuqori	Juda yuqori
Signalni regeneratsiyalash	Bajariladi	Bajarilmaydi
Uzatish tezligiga bog'liqligi	Bog'liq	Bog'liq emas
Bir vaqtda bir necha signal larni uzatish imkoniyati	Mavjud emas	Mavjud
Signal/ shovqin nisbati	Yuqori	Quyi
Qo'llanish sohasi	Lokal, regional va regionlararo tarmoqlar	Regional va ragionlararo tarmoqlar

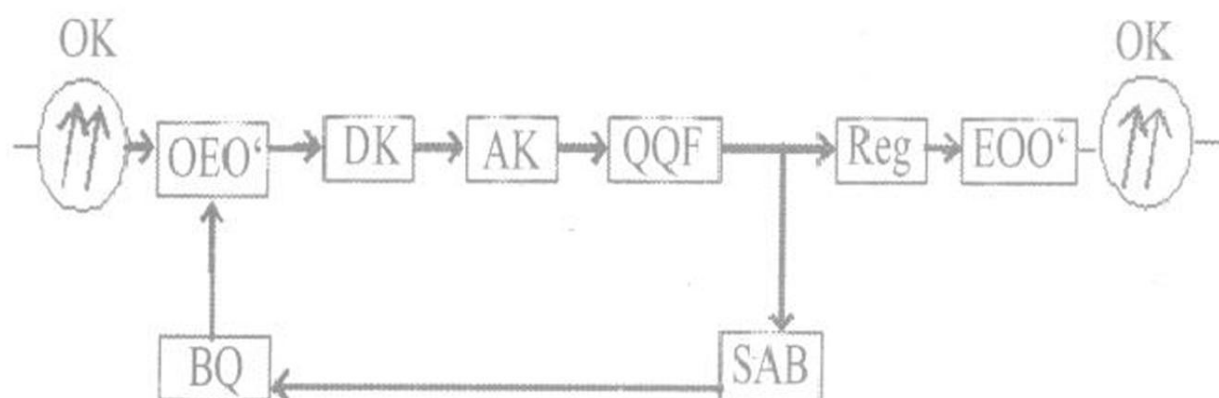
Optik kuchaytirgichlar kam elementlardan tarkib topgani uchun uning tuzilishi oddiy.

Lekin narxi ancha qimmat. Ehtiyojning oshishi bilan narxi arzonlashishi mumkin. Optik kuchaytirgichlarning ishonchliligi regeneratorlarga qaraganda yuqori.

Bu uning eng muhim afzalligi bo'lib, suv ostida optik kabellar-ni yotqazganda retranslyatorlarni tashkil etishda e'tiborga olinadi.

Optik kuchaytirgichlarning ishi signallarni uzatish tezligiga bog'liq emas, regeneratorlarda esa aksincha. Regeneratorlar bitta signal bilan ishlaydi. Optik kuchaytirgichlar esa kuchaytirish zonasining berilgan oraliq chegarasida turli to'liq uzunlikli (WDM signal) bir necha optik signallarni bir vaqtda kuchaytiradi.

Retranslyator – regeneratorning umumiy tuzilish sxemasi
4.2-rasmda keltirilgan.



4.2.-rasm. Raqamli retranslyatorning 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* fotodiod yoki lavin 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 natijasida kabel va OEO' xususiyatlarini o'zgarishidan qurilma kirishidagi signallar o'zgarganda regeneratori kirishidagi kirish signallari sathining doimiyligini ta'minlaydi;

BQ – boshqaruvchi qurilma, SAB qurilmasidan berilayotgan signallar ta'sirida OEO' uzatish parametrlari o'zgarishini ta'minlaydi

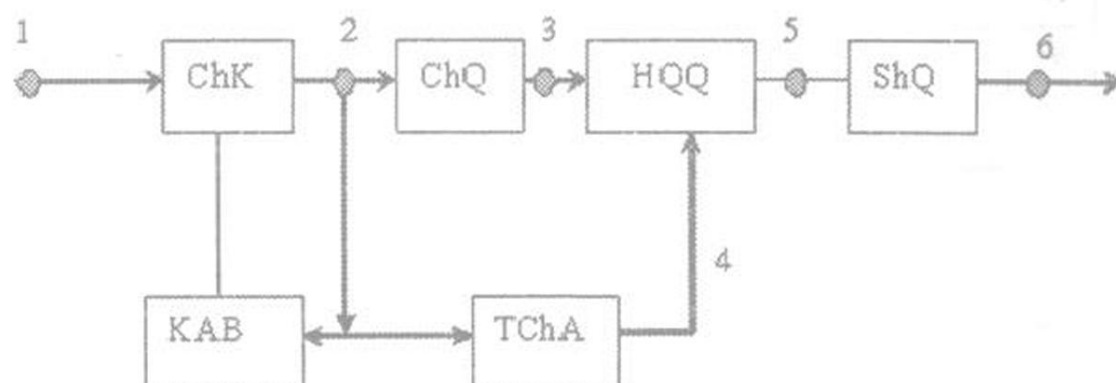
Reg – regenerator, elektr impulslari shaklini tiklaydi;

EOO' – elektron optik o'zgartirgich, elektr impulslari ketma-ketligini optik impulslar ketma-ketligiga o'zgartiradi. EOO' sifatida yorug'lik yoki lazer diodlari qo'llaniladi.

Raqamli retranslyatorning asosiy elementi regenerator hisoblanadi.

4.4. OPTIK SIGNALLARNI REGENERATSIYALASH. REGENERATORNING TUZILISHI VA ISH PRINSIPI

Regeneratorning umumlashgan tuzilish sxemasi 4.3- rasmda tasvirlangan.



4.3-rasm. Regeneratorning umumlashgan tuzilish sxemasi

Sxemada:

ChK – chegaralovchi kuchaytirgich;

KAB – kuchayishni avtomatik boshqaruvchi qurilma;

ChQ – chegaralovchi qurilma;

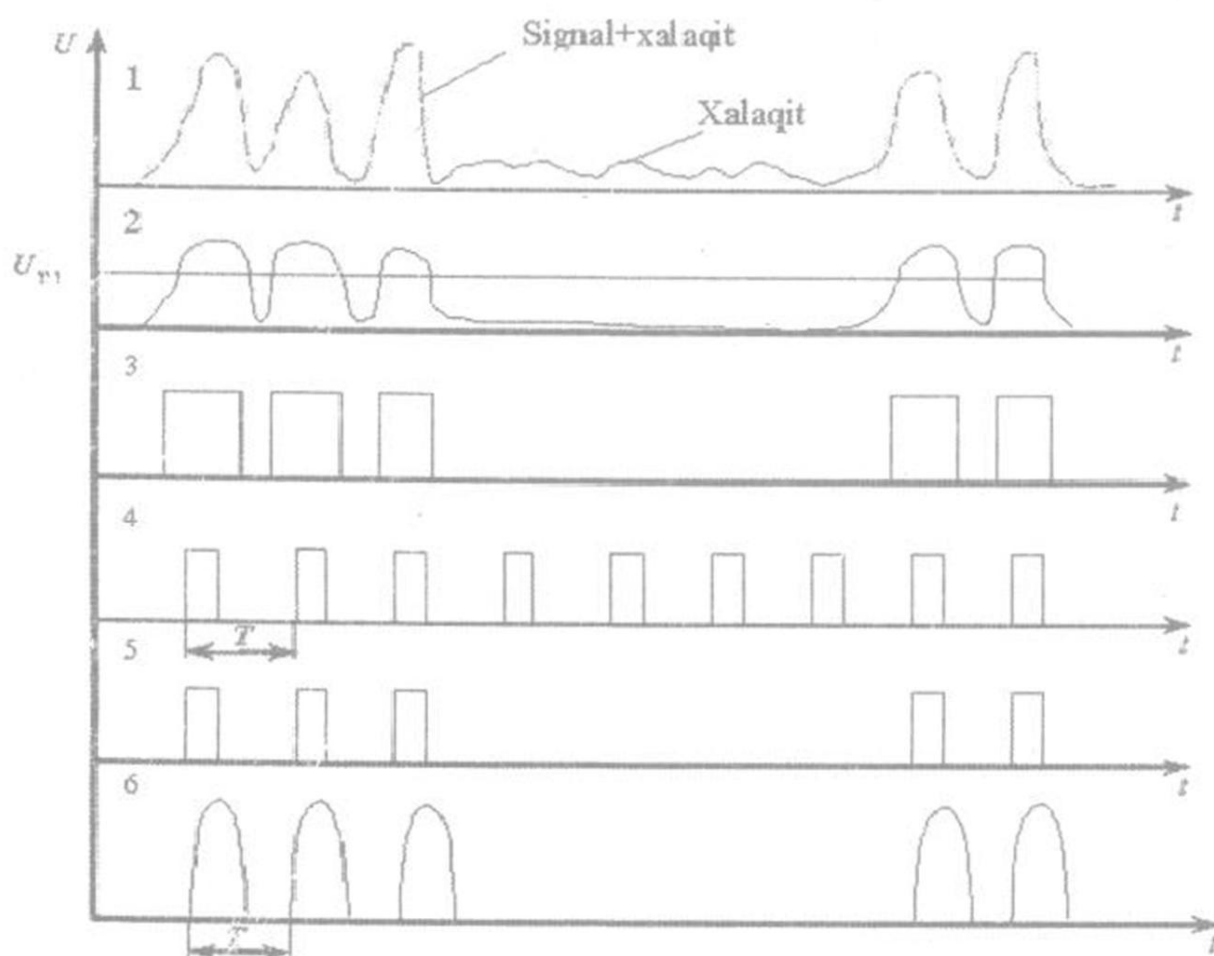
XQQ – hal qiluvchi qurilma;

TChA – taktli chastota ajratgich;

ShQ – shakllantiruvchi qurilma.

Bu elementlarning vazifalarini regenerator ishining vaqt diagrammasidan ko'rish mumkin (4.4-rasm). Bu rasmdagi 1–6 signal-

lar 4.4-rasmda tasvirlangan regeneratorning 1–6 nuqtalaridagi signal ko‘rinishlaridir.



4.4-rasm. Regenerator ishining vaqt diagrammasi.

Regenerator ishini ko‘rib chiqamiz.

QQF chiqishidan 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 doimiylikini qo‘shimcha ravishda saqlab turadi. ChKda signallar kuchaytiriladi va buzilishlarning 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‘la-

di (3). TChA chiqishidan HQQ kirishiga (4) $f_T=1/T$ taktili chastota impulsarining davriy ketma-ketligi uzatiladi, bunda T -impulsar ketma-ketligi davri.

Agar HQQning birinchi kirishiga ChQ chiqishidan axborot signallari ketma-ketligi (3), ikkinchi kirishiga taktili impulsar ketma-ketligi (4) berilsa va ular bir-biri bilan mos tushsa, HQQ chiqishida ma'lum amplituda va davriylikka ega impulsar hosil bo'ladi (5).

Bu impulsar ShQga uzatiladi. ShQda impulsar shakli to'liq regeneratsiyalanib, boshlang'ich signallarga mos keluvchi impulsar shakllanadi. So'ng bu impulsar EOO' da optik nurlanish impulsari ketma-ketligiga o'zgartiriladi.

Shuni belgilab o'tish kerakki, TChA ishining xatoliklari tufayli hosil bo'ladigan fazalar titrashini kamaytirish maqsadida TChA chiqishidagi impulsarning davriy ketma-ketligi (4) ChQ chiqishidagi to'g'rilangan impulsar bilan albatta fazalashtiriladi.

Chegaralovchi qurilma va chegaralovchi kuchaytirgich regeneratoring asosiy elementlari hisoblanib, uning shovqindan himoyalanganligini ta'minlaydi, chegaraviy kuchlanish va mustahkam kuchaytirishni aniq o'rnatilishini talab etadi. Chegaraviy kuchlanishning o'zgarishi regeneratoring shovqinbardoshlilikini kamaytiradi, bu chegaralovchi kuchaytirgich (ChK) chiqishidagi to'g'rilangan impulsarning 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, shovqindan himoyalanganlik oshadi.

4.5. OPTIK KUCHAYTIRGICHLAR

Ko'p kanalli optik tizimlarni tuzish, shuningdek regeneratorlar orasidagi masofani uzaytirishga urinish optik kuchaytirgichlarni rivojlanishiga sabab bo'ldi. Optik kuchaytirgichlar nolga teng bo'lmagan siljigan dispersiyali bir modali NZDSF tolalarining afzalliklari tufayli qimmat regeneratsiyalash tizimlarini qo'llamaslik imkonini yaratadi va optik tola bo'ylab uzatiladigan axborot hajmini keskin oshiradi.

Regeneratorlardan farqli ravishda optik kuchaytirgichlar optik signallarni elektrik signallarga aylantirib o'tirmay, 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 talab qilinsa, bir necha optik kanallar uchun bitta optik kuchaytirgich kerak bo'ladi. Oddiyligi va ishonchliligini ngyuqoriligi bu optik kuchaytirgichlarni afzalligidir. Shuningdek, optik kuchaytirgichlarning ishi uzatish tezligiga bog'liq emas, regeneratorlarda esa aksincha. Optik kuchaytirgichlarni quyidagi asoslarda ishlab chiqarish mumkin:

- yarim o'tkazgichli $p-n$ o'tish asosida;
- aralashma optik tolalar asosida.

Yarim o'tkazgichli lazer kuchaytirgichlar ikki kamchiligi tufayli keng tarqalmagan. Ularni yorug'lik nurlantiruvchi aktiv qatlami 1 mkm qalinlikka ega, bu esa yorug'lik oqimlarining katta qismini kirish tolasidan aktiv qatlama tushishini chegaralaydi (bir modali tolalarning diametri 9 mkm). Natijida oqimlar yo'qoladi va foydali kuchaytirish ko'effitsiyenti kamayadi. Kirishdagi tola bilan aktiv qatlam orasida linzalar joylashtirib, kuchaytirgichning foydali kuchaytirish ko'effitsiyentini oshirish mumkin. Lekin, bu kuchaytirgich tuzilishini yanada murakkablashtiradi.

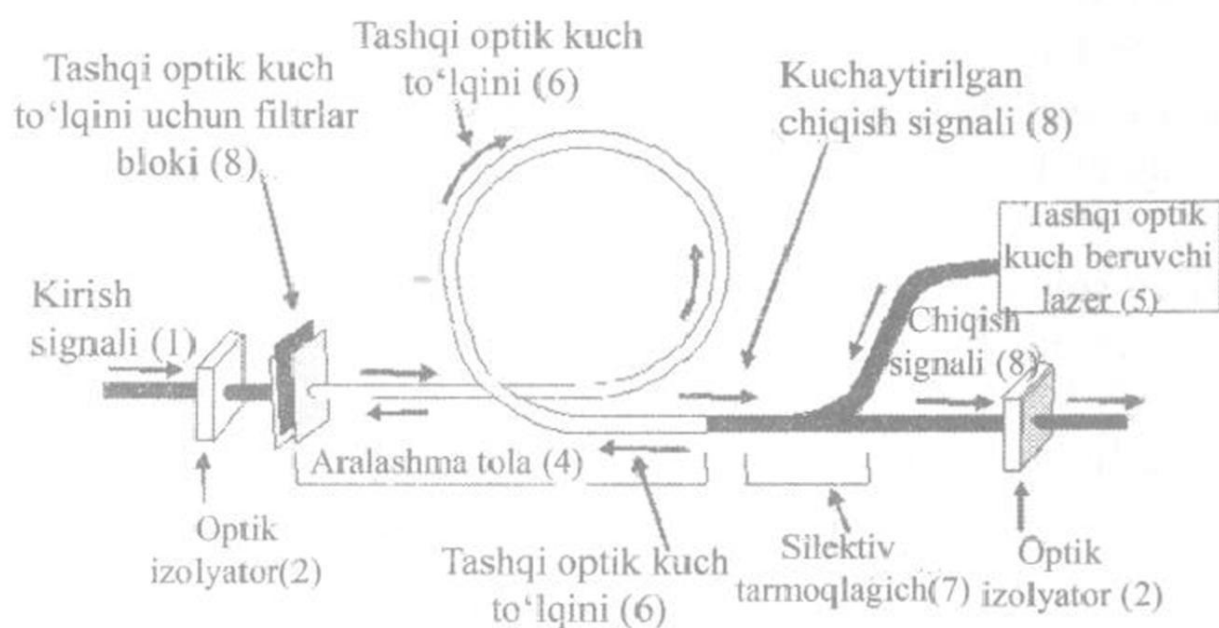
Shuningdek, yarim o'tkazgichli kuchaytirgichlarning kuchay-

tirishi nurlanish qutblanishini yoʻnalishiga bogʻliq. Optik tolada qutblanishning nazorat qilishning iloji yoʻqligi, bunday kuchaytirgichlarda 4 – 8 dB gacha yoʻqotishlarga olib keladi. Shuning uchun yarim oʻtkazgichli kuchaytirgichlarni yorugʻlik nurlanish manbalari bilan birgalikda ishlab chiqarilgandagina qoʻllash kerak. Bu nurlanish quvvatini oshirish maqsadida qilinadi.

Aralashma optik tolali kuchaytirgichlar optik signallarni keng spektr oraligʻida kuchaytirganligi uchun koʻproq qoʻllaniladi.

Bunday kuchaytirgichlar asosini yerda kam tarqalgan elementlarning (asosan erbiy) aralashmalari bilan legirlangan bir modali tolalar tashkil etadi. Bunda tola oʻzagi aralashmalar (erbiy) bilan legirlanadi. Optik tolaning oʻzi kremniy yoki fluor sirkonat elementlari asosida tayyorlangan boʻlishi mumkin.

Aralashma tolali optik kuchaytirgichning tuzilishi 4.5-rasmda koʻrsatilgan [1].



4.5-rasm. Aralashma tolali optik kuchaytirgichning tuzilishi.

Aralashma tolali optik kuchaytirgichning ishlash prinsipi quyidagicha: kuchsiz, soʻngan optik signallar faqat bir yoʻnalishda (chapdan-oʻngga) uzatishni taʼminlovchi (teskari yoʻnalishda uza-

tmaydigan) optik izolyator orqali (2) optik filtrlar blokiga kelib tushadi(3).

Filtrlar lazerga tashqi optik kuch berish (nakachka) chastotasi-da yorug'lik tarqalishining oldini oladi. So'ng optik signallar g'al-takko'rinishida ishlangan taxminan 25 – 100 metrli aralashma tola-li kabel kesimiga kelib tushadi (4).Tolaning bu uchastkasi qara-ma-qarshi tomonga o'rnatilgan yarim o'tkazgich lazerning (5) kuchli uzluksiz nurlanishiga uchraydi. Tashqi optik kuch beruvchi lazerdan yorug'lik - tashqi optik kuch to'liqini (6) aralashmali tola-ga uzatiladi.

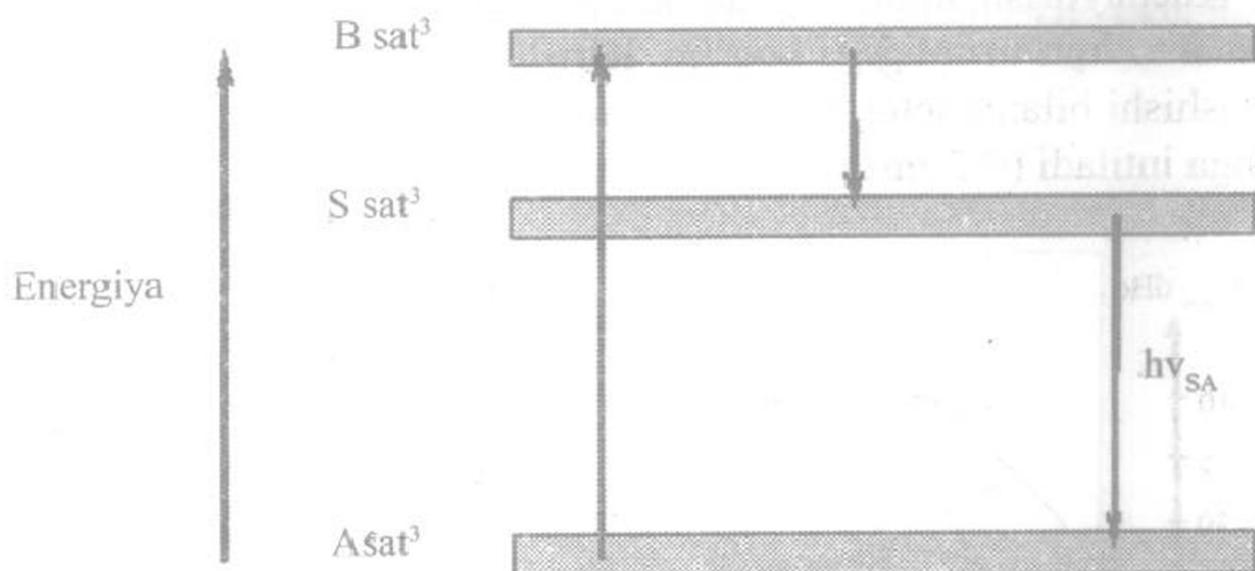
Tashqi optik kuch to'liqini aralashma atomlarini qo'zg'atadi. Kirishdagi signallar kuchsiz bo'lgani uchun aralashma atomlar-ini qo'zg'algan holatdan yorug'lik nurlanishi bilan asosiy holat-ga indutsiyalangan (majburiy) o'tishi ro'y beradi. Selektiv tarmo-qlagich (7) kuchaytirilgan foydali signalni (8) chiqish tolasiga (9) yo'naltiradi. Chiqishdagi qo'shimcha optik izolyator (10) chiq-ishdan teskari, tarqoq signallarni optik kuchaytirgichning aktiv sohasiga tushishining oldini oladi.Kuchaytirgichning aktiv soha-si o'zagi aralashmalar bilan legirlangan bir moddali tola hisobla-nadi.

Aktiv sohaga tashqi lazer orqali optik kuch berilishidan erbiy aralashmasining uch sathli atom tizimi hosil bo'ladi (4.6-rasm) [1].

Tashqi optik kuch natijasida atomlar asosiy A sathdan qo'zg'algan B sathga o'tadi. Tashqi optik kuch berish energiyasi

$$\Delta W = hf(A \cdot B), \quad (4.1)$$

tashqi lazerning $\lambda = 980$ nm to'liqin uzunligiga mos keladi. So'ng elektronlar B sathdan oraliq C sathga o'tadi. C sathda elektronlar yetarli darajada ko'p joylashganda, teskari jarayon C sathdan A sathga o'tish boshlanadi.



4.6-rasm. Aralashma tolali optik kuchaytirgichning uch sathli atom tizimining energetik diagrammasi.

Bunday tizim ma'lum to'liq uzunligi diapazonidagi kirish optik signallarini majburiy kuchaytirish qobiliyatiga ega.

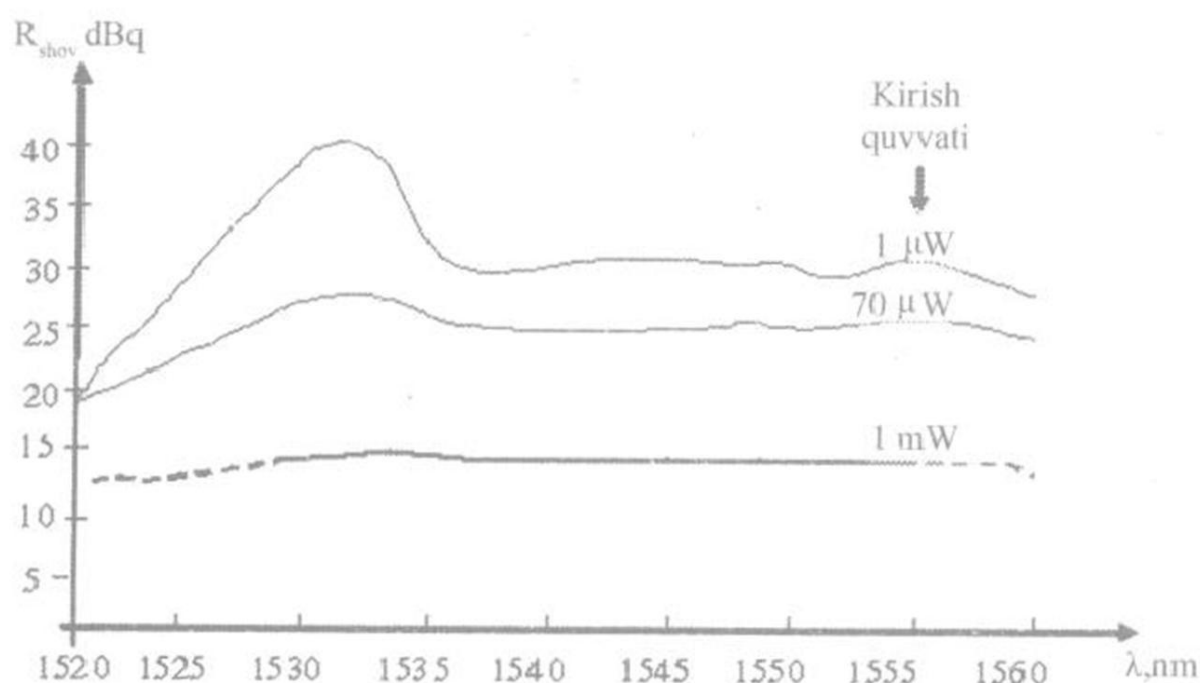
Kuchaytirgich ishining xususiyatlari ko'proq aralashma turiga va signallarni kuchaytirishi kerak bo'lgan to'liq uzunligi diapazoniga bog'liq.

4.6. KREMNIY VA FTOR-SIRKONAT ASOSIDAGI EDFA KUCHAYTIRGICHLARI, ULARNING XARAKTERISTIKALARI

Kremniydan tayyorlangan, o'zagi erbiy bilan legirlangan bir moddali toladan iborat kuchaytirgichlar keng tarqalgan. Bunday kuchaytirgichlar EDFA kuchaytirgichlari deyiladi. EDFA kuchaytirgichlarning kuchaytirish sohasi keng 1530 nm dan 1560 nm gacha.

Bu $h\nu_{CA}$ o'tishga mos keladi.

Kuchaytirish ko'effitsiyenti kirish signallarining amplituda-siga va to'liq uzunligiga bog'liq. Kirish signall-aring amplituda-si oshishi bilan kuchaytirish pasayadi va chiqishdagi signal to'yin-ishga intiladi (4.7-rasm).



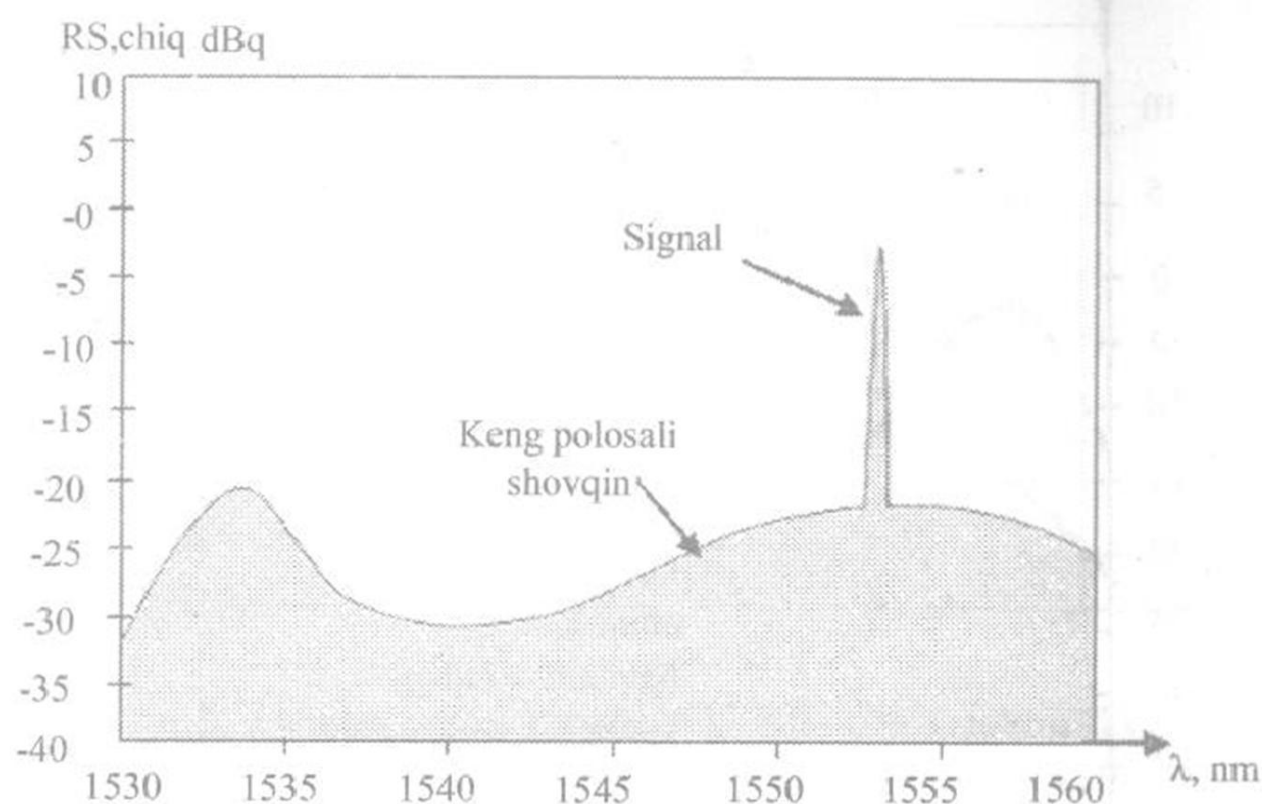
4.7-rasm. Kirish optik signallari quvvatining turli qiymatlarida kremniy asosidagi EDFA kuchaytirgichlarining kuchaytirish ko'effitsiyenti.

Kuchaytirishning to'liq uzunligiga bog'liqligi optik kanal amplitudalarini to'g'rilovchi ekvalayzerlarni o'rnatishni talab eta-di. Optik kuchaytirgichlarda shaxsiy shovqinlarning quvvati yuqori. Bu kirish optik signallari bo'lmaganda spontan (tasodifiy) nurlan-ishning mavjudligi bilan bog'liq.

Optik kuchaytirgichlar kuchaytirilayotgan signallarga qo'shim-cha shovqin kiritadi.

Natijada signal/shovqin nisbati pasayadi, optik kuchaytirgichli oraliq punktlar soni chegaralanadi. Shuning uchun kuchaytirgichlar bilan birg-alikda regeneratlarni ham qo'llash kerak.

Hozirgi kunda kremniy va fluor-sirkonat asosidagi EDFA kuchaytirgichlari mavjud.



4.8-rasm. EDFA kuchaytirgichlarning shovqin va chiqish signallari quvvati.

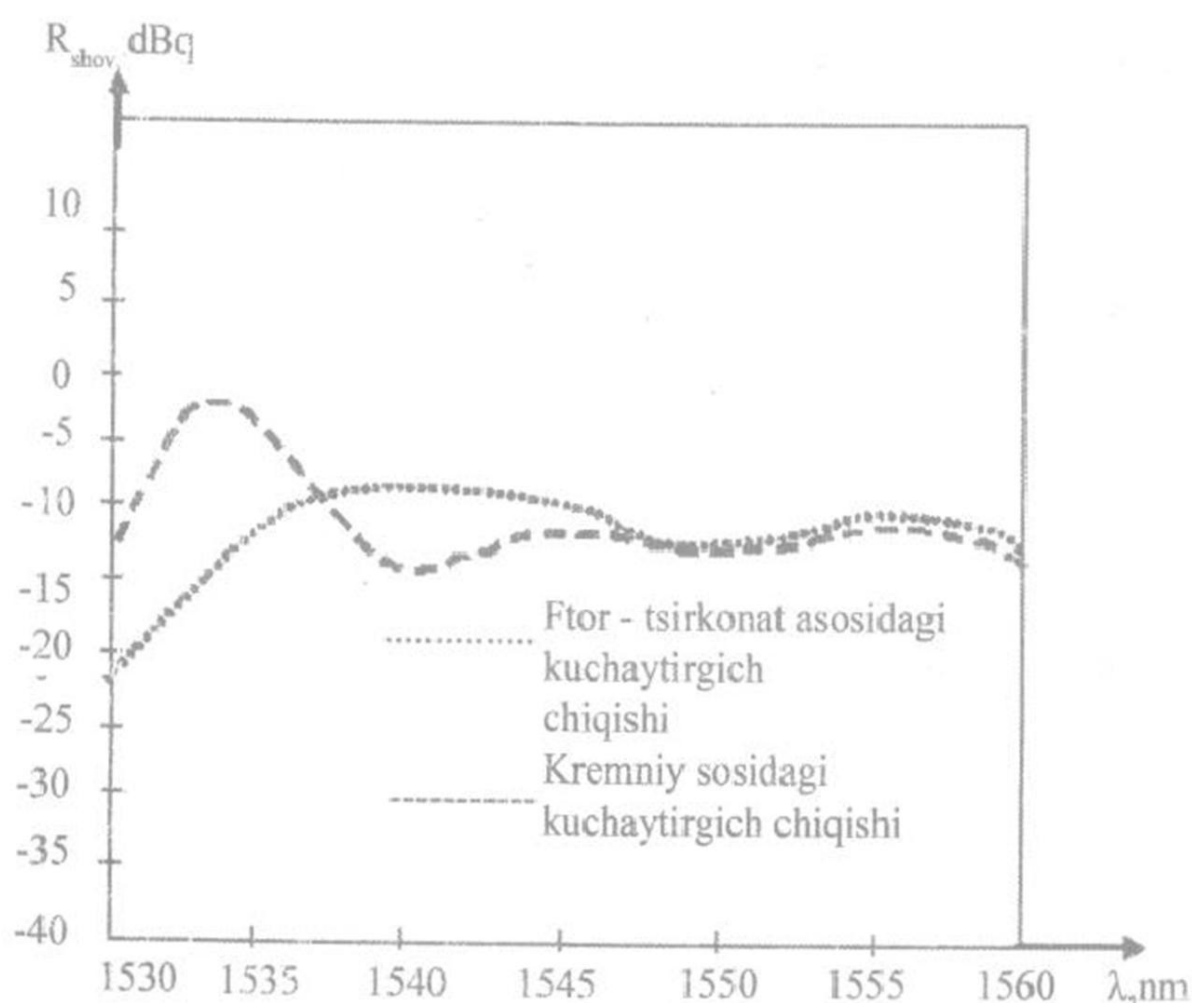
Kremniy asosidagi kuchaytirgichlarning kuchaytirishi koeffitsiyenti turli to'liqin uzunliklarida bir tekis emas.

Kuchaytirishning bir me'yorda emasligi bir optik kanalning boshqasiga qaraganda signal/shovqin nisbatining yomonlashuviga olib keladi (4.9-rasm).

Kremniy asosidagi kuchaytirgichlarning signal/shovqin nisbati ba'zi kanallarda yuqori (4.10-a rasm), lekin ayniqsa 1540 nm to'liqin uzunlikdagi kanallarda signal/shovqin nisbati kichik.

Spektr bo'yicha zichlashtiriladigan uzatish tizimlarining 1545 nm dan yuqoridagi kanallarining shovqindan himoyalanganligi

yuqori, boshqa 1540 nm dagi kanallarning shovqindan himoyalanganligi kichik bo'ladi.

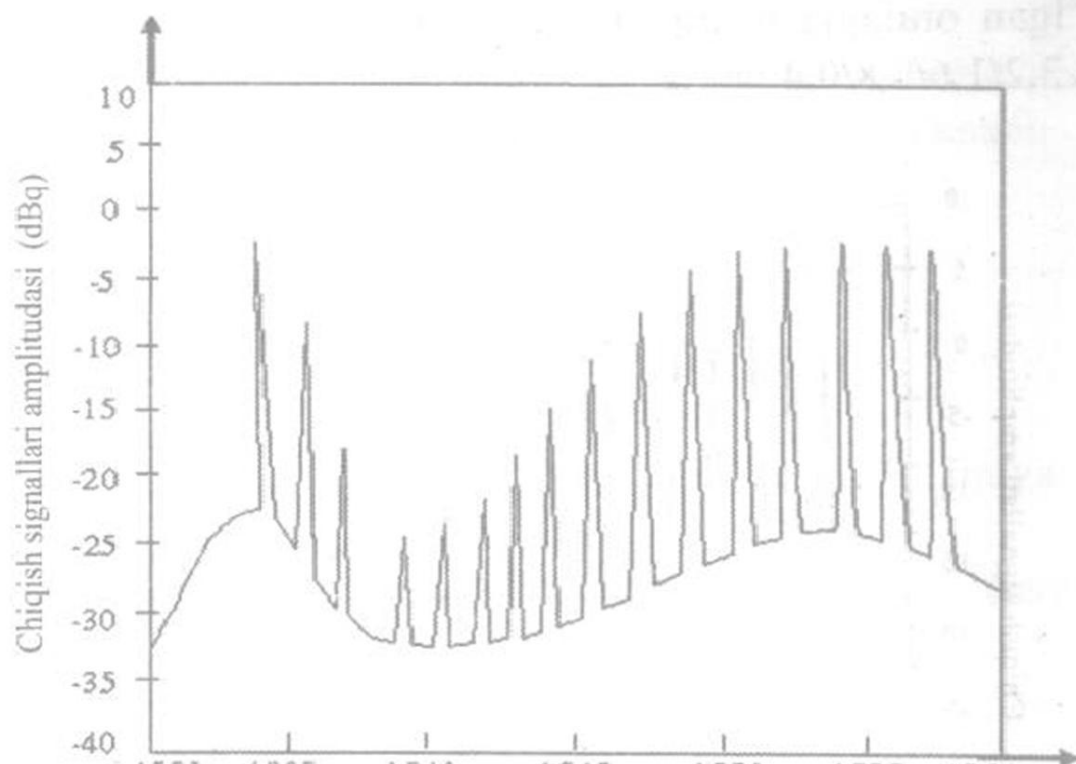


4.9-rasm. Kirishda signal bo'lmaganda kirish shovqinlari quvvatini aks ettiruvchi chiqish quvvatlarining egriligi.

Shovqindan himoyalanganlik, signal/shovqin nisbati bir me'yorda o'zgarishini ta'minlash uchun ftortsirkonat asosidagi kuchaytirgichlardan foydalanish kerak.

Ftor-tsilikonat asosidagi optik kuchaytirgichlarning kuchaytirishini to'lqin uzunligiga bog'liqlik xarakteristikasi tekis o'zgaradi.

Hozirgi kunda ishlab chiqaruvchilar kamchiliklarni yo'qotish, bunday kuchaytirgichlarni kelgusida yanada takomillashtirish, shovqin sathi kichik, yuqori puxtalilikka ega EDFA kuchaytirgichlarini ishlab chiqarish ustida ish olib bormoqdalar.



4.10-rasm. Kuchaytirgich kirishiga kuchaytirish uchun DW DM signallari berilgandagi chiqish quvvatining (signal va shovqin) egriligi:

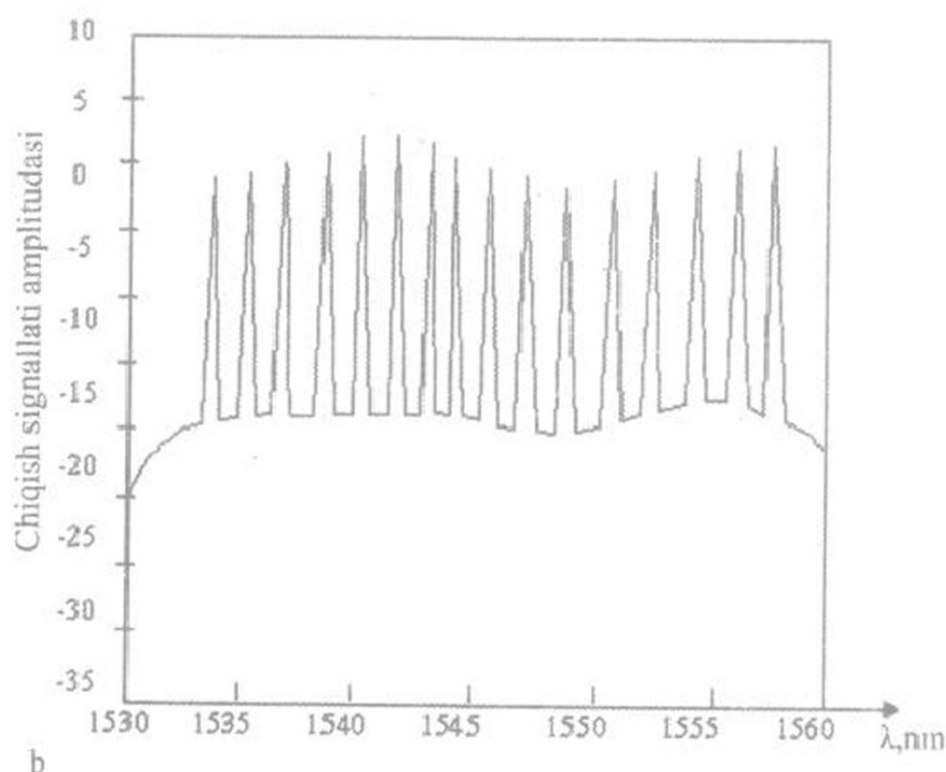
a) kremniy asosidagi kuchaytirgichlar (1540 nm oralig'ida signal shovqin nisbatining pasayishi kuzatiladi; b) fortsirkonat asosidagi kuchaytirgichlar.

4.7. OPTIK KUCHAYTIRGICHLARNING PARAMETRLARI

Optik kuchaytirgichlar signallar faqat optik texnologiyalar asosida qayta ishlanadigan to'liq optik tizim va optik tarmoqlarda qo'llashga mo'ljallangan.

To'lqin (spektr) bo'yicha multipleksorlash WDM (Wavelength Division Multiplexing) va zich to'lqin bo'yicha multipleksorlash DWDM (Dense Wave Division Multiplexing) texnologiyalari ko'p kanalli optik tizimlarni hosil qilish imkoniyatini yaratmoqda.

DWDM texnologiyasida signallar kuchaytirish sohasi 1530-1560 nm bo'lgan oraliqda uzatiladi. Optik kanallar o'rtasidagi oraliq masofa 3,2/1,6/0,8/0,4 nm bo'ladi.



4.11-rasm. Optik kuchaytirgichlarning belgilanishi.

Bunday oraliq masofada bir necha o'nlab optik kanallarni (80 gacha) joylashtirish mumkin.

Bunday tizimlarda qo'llaniladigan optik kuchaytirgichlar quyidagi parametrlar orqali aniqlanadi:

To'yinish quvvati $P_{t.chiq}$ -maksimal chiqish quvvatini aniqlaydi.

Maksimal quvvat 36dBq (4 E)dan oshishi mumkin.

Kuchayish koeffitsiyenti:

$$g=10lg P_{s.chiq}P_{s.kir} \quad (4.2)$$

bunda, $P_{s.chiq}$ — chiqish signalining quvvati;

$P_{s.kir}$ — kirish signalining quvvati

Kuchayish 40dB gacha etishi mumkin.

Shovqin-faktor NF kuchaytirgich kirishidagi signal/shovqin nisbatini chiqishdagi signal/shovqin nisbati orqali aniqlanadi:

$$NF = (P_{s.kir} / P_{shov.kir}) / (P_{s.chiq} / P_{shov.chiq}). \quad (4.3)$$

$$NF = 5-6 \text{ dB}.$$

Optik kuchaytirgichlar vazifasiga qarab dastlabki, liniya va quvvat kuchaytirgichlariga bo'linadi.

Dastlabki kuchaytirgichlar regenerator kirishida o'rnatiladi va signal/shovqin nisbatini oshirishga yordam beradi.

Liniya kuchaytirgichlari signal buzilishlarini bartaraf etish zaruriyati bo'lmasa, regeneratorlar o'rmini bosishi mumkin.

Quvvat kuchaytirgichlari lazer o'tkazgichlarning chiqishida o'rnatiladi va oraliq kuchaytirish punktlari orasidagi masofani uzaytirishga yordam beradi.

4.8. RAQAMLI TOLALI OPTIK ALOQA TIZIMLARINING LINIYA KODLARI

Liniya kodining parametrlari optik tola parametrlari bilan moslashgan bo'lishi kerak. Raqamli elektr impulslar optik nurlanish (optik tashuvchi) jadalligi yoki quvvatini modulatsiyalab, raqamli optik signallarning liniya kodini shakllantiradi. Optik liniya kodi elektr liniya kodlaridan farqli ravishda bir qutbli bo'ladi.

Optik liniya kodlariga bir qator talablar qo'yiladi:

1. Raqamli TOA tizimlari liniya kodlarining tuzilishi taktli sinxronizatsiya impulslarini shakllantirish uchun raqamli signal tarkibidan taktli chastotani osongina ajratib olishni ta'minlashi kerak.

2.Liniya kodining tuzilishi aloqani uzmasdan liniya trakti qurilmalari sozligini nazorat qilishni, uzatish sifatini va yuqori shovqin bardoshlilikni ta'minlashi kerak.

3.Shovqin va dispersiya buzilishlarini kamaytirish uchun optik liniya kodining energetik spektri iloji boricha tor bo'lishi kerak. Spektr oralig'i qancha keng bo'lsa, shovqin sathi shuncha ortadi va aksincha.

4.Liniya kodining energetik spektri tarkibida doimiy tashkil topuvchilar bo'lmasligi kerak. Bu TOA tizimlari liniya trakti qurilmalarining kuchlanish ta'minotini yuqori aniqlikda o'rnatish kerakligi bilan tushintiriladi. Simvollararo xalaqitlarni kamaytirish maqsadida past chastotali sohalarda chatota oralig'i chegaralangan bo'lishi kerak.

5.Shuningdek, simvollararo xalaqitlarni kamaytirish uchun energetik spektri yuqoridan chegaralangan bo'lishi zarur.

6.Optik liniya kodi koder va dekoder qurilmalari soddalashuvini ta'minlashi kerak.

7.Yuqorida keltirilgan talablarning to'liq hajmdagi yig'indisiga hech qaysi kod javob bermaydi. Shuning uchun qo'yiladigan talablarga bog'liq holda TOA tizimlarida turli kodlardan foydalaniladi.

4.9. LINIYA KODLARINING TURLARI VA ULARNING SHAKLLANISHI

TOA tizimlari apparaturalarida qo'llaniladigan boshlang'ich kod NRZ (non return to zero – nolga qaytmaslik) kodi hisoblanadi.

NRZ kodining spektrida taktli chastotaning diskret tashkil etuvchilarining bo'lmasligi sababli taktli chastota ajratgich qurilmasi murakkablashadi va regeneratorning qabul qilish qurilmalarining sinxronizatsiyasi qiyinlashadi.

Barcha optik kodlar blok ko'rinishida bo'lib, ularda bosh-

lang'ich NRZ kodining har bir "n" impulsidan liniya optik kodining "n" impulsi shakllanadi. Bunda har doim $n > m$ bo'lib, ortiqcha impulslar liniyaga uzatiladi. Bu liniya kodida ortiqlik deyiladi. Bunday kod mBnB deb belgilanadi, bu yerda "B" (Binary – ikkilik) boshlang'ich va liniyaga uzatiladigan kodlarni ikkilik kodi ekanligini bildiradi. Liniya kodi boshlang'ich kodni uzatishga ketadigan vaqtda uzatilishi kerak. Signallarni liniyaga uzatish tezligi

$$B = f_l \cdot \frac{n}{m} \cdot f_m, \quad (4.4)$$

bunda f_l – liniya kodi impulslarining ketma - ketlik chastotasi;

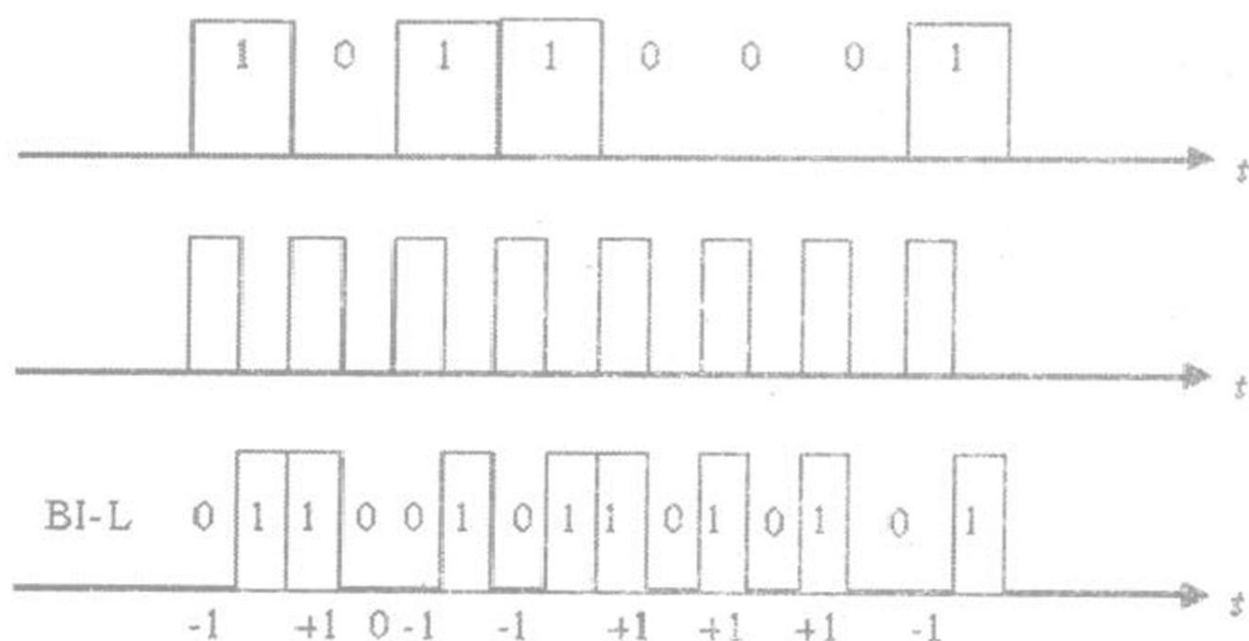
f_m – boshlang'ich kod impulslarining ketma-ketlik chastotasi.

Bunda shuni alohida belgilab o'tish kerakki, uzatish tezligi oshishi bilan liniya kodi n impulslarining ortiqligi kamayishi kerak. Chunki uzatish tezligi ortishi bilan apparaturalar murakkablashadi va liniyada dispersiya oshadi. Turli optik kodlarni ko'rib chiqamiz.

1B2B kodlar. Bu sinfdagi kodlar sodda bo'lib, boshlang'ich kodlarga nisbatan liniyaga uzatiladigan impulslar soni 2 marta oshiq. BI-L (absolut biimpuls) kodi ham 1B2B sinfidagi kodlarga kiradi. BI-L kodining shakllanishi 4.12-rasmda ko'rsatilgan.

Rasmdan ko'rinib turibdiki, boshlang'ich NRZ kodidagi nollar o'rniga BI-L kodida bir va nollar almashinib, ketma - ket uzatiladi. Bu bilan shovqindan himoyalanganlik ortadi.

1B2B kodlaridan eng ko'p qo'llaniladigani CMI kodidir. CMI kodi filtr yordamida taktli chastotani ajratish imkoniyatiga ega bo'lgan oddiy koddur. Bunday imkoniyat yarim taktli $1,5f_m$ chastotada energetik spektrning maksimal ekanligiga bog'liq. Bunday kodlarda boshlang'ich «1» simvoli 11 va 00 bloki ko'rinishida, boshlang'ich «0» simvoli esa 01 (yoki 10) ko'rinishida kodlanadi. 11 va 00 navbatma – navbat o'zgarishi xatoliklarni aniqlashga yordam beradi.



4.12-rasm. NRZ dan BI-L kodiga O'zgartirish.

2B4B kodlari. Bu sinfdagi kodga PIM pozitsion – impuls modulatsiyali kod kiradi. Bunda boshlang'ich 00, 01, 10, 11 kodlardan mos ravishda 1000, 0100, 0010, 0001 liniya kodlari shakllanadi (4.2-jadval).

4.2-jadval

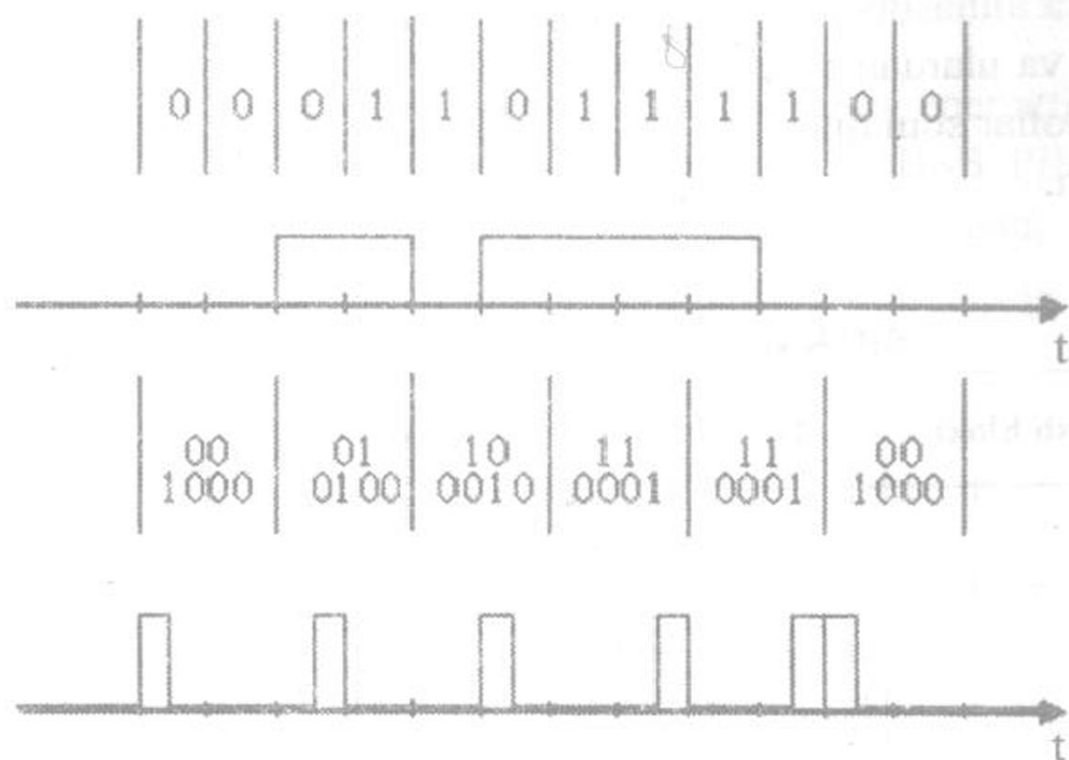
2B4B kodining shakllanishi

Boshlang'ich kod	Liniya kodi
00	1000
01	0100
10	0010
11	0001

PIM kodining shakllanishi 4.13 – rasmda berilgan

1B2B sinfidagi kodlardan PIM kodining afzalligi shundaki, unda «1» simvollarining soni 2 marta kam va mos ravishda liniya-

ga uzatishning o'rtacha quvvati kamayadi. Bundan birinchi navbatda nurlanish manbalarining ishonchliligi oshadi va quvvat kam sarf etiladi.



4.13-rasm. PIM kodining shakllanishi.

To'rtta uzatilayotgan simvollaridan faqat bittasi «1» simvoli bo'lganligi sababli sinxronizatsiya mukammallashadi. 1B2B, 2B4B sinfdagi kodlarda m impulsqa qaraganda n impulslari 2 marta ko'pligi sababli bunday kodlar tezligi 100 Mbit/s dan oshmaydigan tizimlarda qo'llaniladi.

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.

4.3-jadval

5B6B sinfini kodli kombinatsiyalari

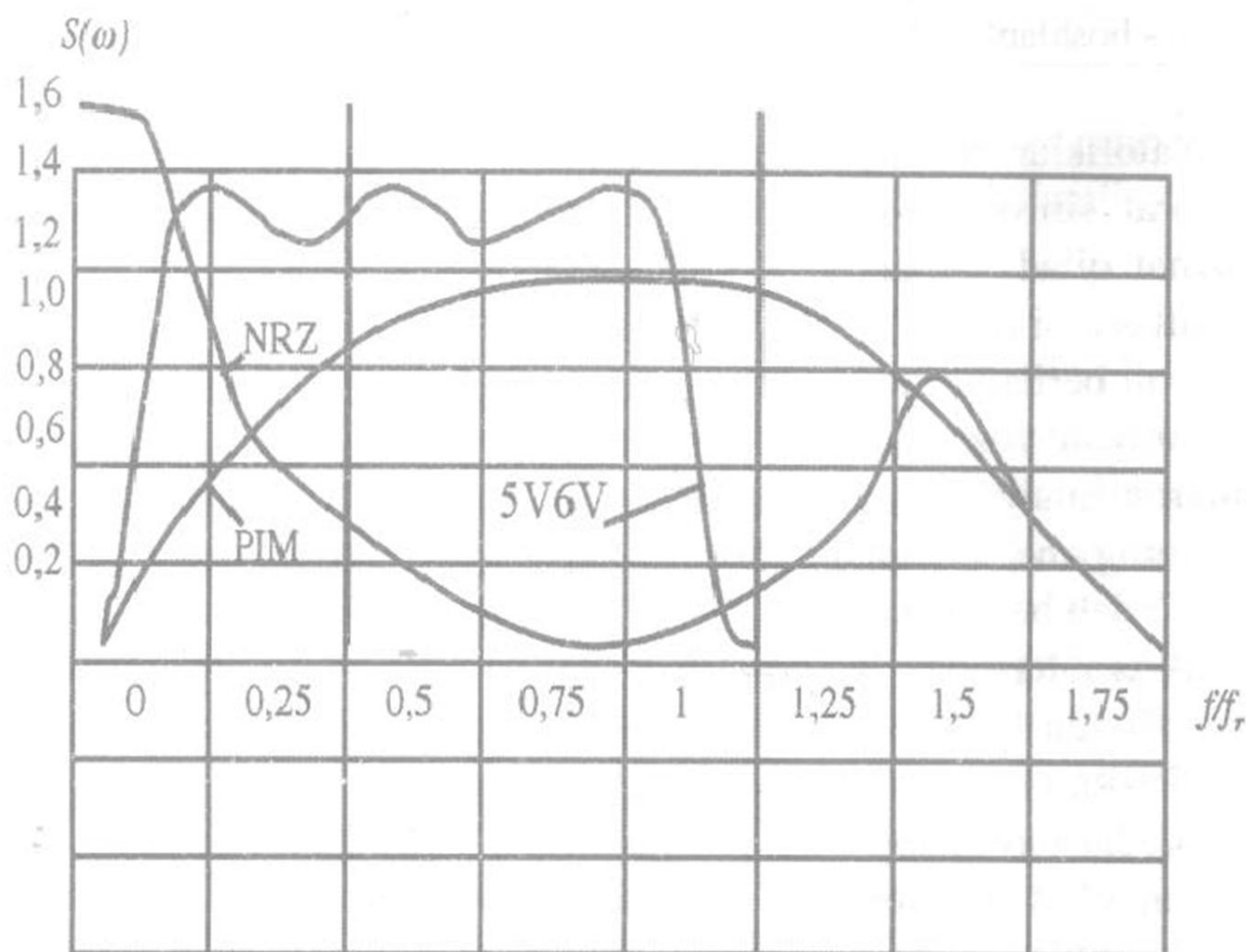
Chiqish bloki	kod 5V6V	Chiqish bloki	kod 5V6V
00000	101011 100010	10000	100011
00001	101010	10001	110101 000101
00010	101001	10010	111001 001001
00011	111000(+) 101000	10011	001101
		10100	110011 010001
00100	110010	10101	010101
00101	111010 001010	10110	110001
00111	001011	10111	011101 011000
01000	011010	11000	100111 100001
01001	100110	11001	100101
01010	101110 100100	11010	011001
01011	101100	11011	101101 001100
01100	110100	111000	010011
	110110 000110	11101	010111
01101			010111(-)
01110	001110		
01111	010110	11110	011011 010010
	011110 010100	11111	011100

4.3-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 doimiyliги ta'minlanadi. Bu kodlarda xatoliklarni topish, 5B6B kodiga taalluqli bo'lmagan 6 razryadli kombinatsiyalarni aniqlash bilan bog'liq.

1B2B, 2B4B kodlariga nisbatan 5B6B kodining energetik spektri tor, bu uning eng muhim afzalligi hisoblanadi. 5B6B, PIM, NRZ kodlarining energetik spektrlari 4.14-rasmida tasvirlangan.



4.14-rasm. Turli optik liniya kodlarining spektrlari.

10B12B, 40B48B kodlari. Bu kodlarda ortiqcha razryadlar sinxronizatsiyani ta'minlash va xatoliklarni tekshirish maqsadida kiritiladi (4.15-rasm).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

a)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	P
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	---

b)

**4.15-rasm. 10B 1R 1B turdagi liniya kodini
shakllanish sxemasi:**

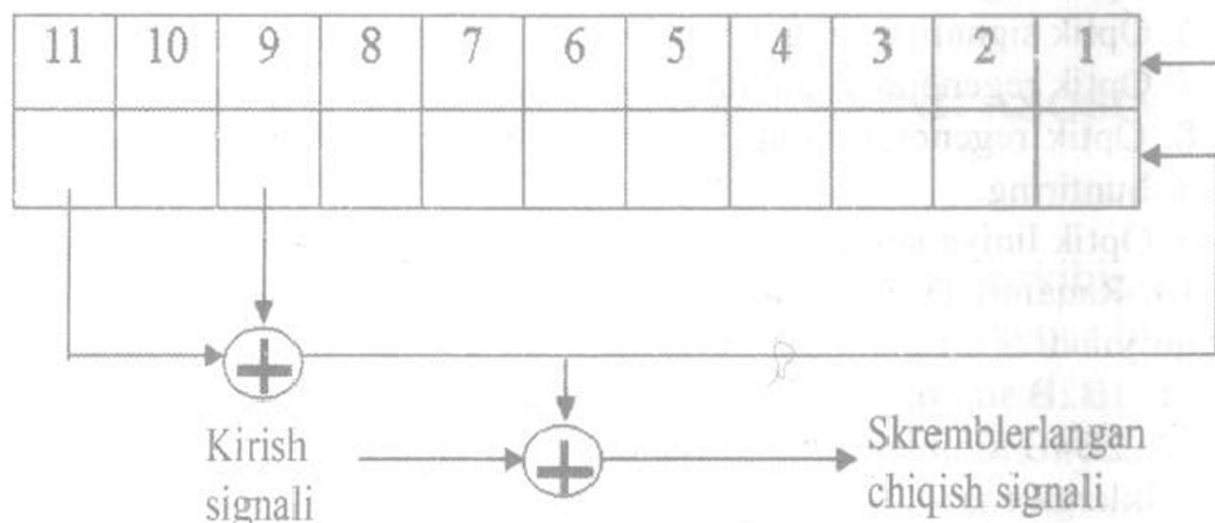
a) - boshlang'ich NRZ kodi; b) - 10B 1R 1P liniya kodi.

Xatoliklar mavjudligi P razradi yordamida tekshiriladi. Bu nazorat simvoli boshlang'ich blokni juftlikka 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 R simvoli 1 ko'rinishida sinxronizatsiya uchun kiritiladi va shuningdek u orqali berilgan blokning chegarasini aniqlash mumkin. 10B 12B kodi ba'zan 10V 1R 1P deb belgilanadi.

Skremblerlash – bu yangi kodni yaratishni yana bir imkoniyatidir. Bunda liniya kodi simvollarni boshlang'ich kod simvollari-ga nisbatan ortiq bo'lishiga zaruriyat mavjud emas. Albatta, bunday kodlash o'zining tejamkorligi tufayli yuqori tezlikli tizimlarda, asosan STM-N tizimlarida qo'llaniladi.

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 kvazi-

tasodifiy ketma-ketligining generatori singari suruvchi registri qo'llash yotadi.



4.16-rasm. Skremblerlash qurilmasining ishi.

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 taktga o'zgaruvchi nol va birlar ketma - ketligi shakllanadi. Bu signallar boshlang'ich signal bilan qo'shilganda, liniyaga skremblerlangan signalni 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 mahfiyligi saqlanadi.

Nazorat savollari:

1. Optik signalni qabul qiluvchi modul qanday tuzilgan?

2. Optik signalni qabul qiluvchi modulning vazifasi nimadan iborat?
3. Optik liniya traktini ta'riflang.
4. Optik liniya traktida regenerator va kuchaytirgichlarni qo'llashda qanday farq bor?
5. Optik regeneratorlar qanday alohida xususiyatlarga ega?
6. Optik signallarni regeneratsiyalash jarayonini tushuntiring.
7. Optik regenerator qanday tuzilgan?
8. Optik regeneratorning ish prinsipining vaqt diagrammalari asosida tushuntiring.
9. Optik liniya kodlarining elektr kodlardan asosiy farqi nimada?
10. Raqamli TOA tizimlarining optik liniya kodlariga qanday talablar qo'yiladi?
11. 1B2B sinfidagi kodlar qanday shakllanadi?
12. 2B4B sinfidagi kodlar qanday shakllanadi va bu kodlar qanday afzalliklarga ega?
13. 3B4B, 5B6B sinfidagi kodlar qanday shakllanadi va ular qanday afzalliklarga ega?
14. Yuqori tezlikli TOA tizimlarida qaysi liniya kodlardan foydalaniladi?
15. 10B1R1P kodlar qanday xususiyatlarga ega?
16. Skrembrlash nima?
17. Optik kuchaytirgichlar nima maqsadda qo'llaniladi?
18. Optik kuchaytirgichlarning qanday turlarini bilasiz?
19. Aralashma tolali optik kuchaytirgichlarning tuzilishi va ish prinsipini tushuntiring.
20. Nega yarim o'tkazgichli optik kuchaytirgichlar keng qo'llaniladi?
21. Optik kuchaytirgichlar qanday asosiy parametrlar bilan tavsiflanadi?
22. Optik kuchaytirgichlar vazifasiga ko'ra qanday turlarga bo'linadi?

5. OPTIK TOLALARNI ULASH

5.1. PASSIV OPTIK QURILMALARNING ASOSIY PARAMETRLARI

TOA tizimlarini normal ishlashi uchun ularning tarkibiga, turli xil passiv optik qurilmalar kiritiladi. Passiv optik qurilmalarga quyidagilar kiradi: optik signalni kiritish va chiqarish qurilmalari, ulagichlar, izolyatorlar, tarmoqlagichlar, filtrlar, attenyuator va boshqalar. Bu qurilmalar uchun quyidagi parametrlar umumiy hisoblanadi: turg'un to'liqin koeffitsiyenti, kiritiluvchi shovqin, to'liqin uzunligini ngishchi diapazoni, ruxsat etiladigan quvvat sathi.

1. Turg'un to'liqin koeffitsiyenti k_{tt} va yuguruvchi k_{yut} to'liqin koeffitsiyentlari qurilmani optik trakt bilan moslashish darajasini aniqlaydi. Ular aks etish koeffitsiyenti p bilan bog'liq:

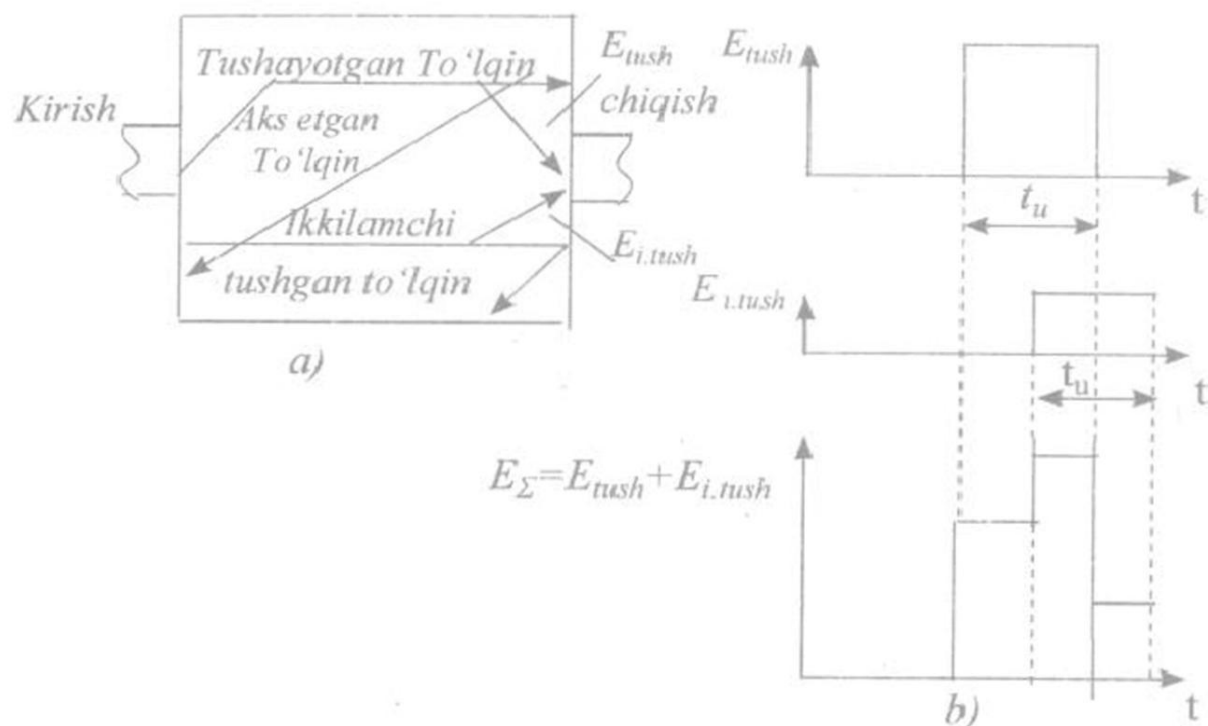
$$k_{tt} = 1/k_{yut} = (1 + g'rg') / (1 - g'rg'), \quad (5.1)$$

bunda $g'Pg' = \sqrt{P_{aks.e}/P_{tush}}$;

$P_{aks.e}$ va P_{tush} – mos ravishda aks etgan va tushayotgan to'liqin quvvatlari. Ideal moslashishda aks etgan to'liqinlar mavjud bo'lmaydi, ya'ni $P_{aks.e} = 0$, $p = 0$ va $k_{tt} = k_{yut} = 1$.

Moslashmaganlik uzatilgan signalni buzilishiga va qo'shimcha yo'qotishlarga olib keladi. Impulslarni takroriy aks etish tufayli buzilishi 5.1-rasmda ko'rsatilgan [4].

Optik qurilma chiqishida, to'g'ri to'rt burchak ko'rinishida ko'rsatilgan, takroriy aks etish natijasida E yig'indi signal boshlang'ich to'g'ri burchakli signalni takrorlamaydi. 5.1-rasmdan ko'rinib turibdiki, ushbu holda impuls kengayadi.



5.1-rasm. Takroriy aks etish natijasida impulslarning buzilishi:
a) moslashmagan optik qurilma to'liqlari; b) vaqt diagrammalari.

2. Kiritiluvchi so'nish (yo'qotish)lar α , dB qiymati, optik qurilmaning kirish P_{kir} va chiqish P_{chiq} quvvatlari nisbatini logarifmi orqali aniqlanadi:

$$\alpha = 10 \lg(P_{kir}/P_{chiq}). \quad (5.2)$$

Kiritiluvchi so'nish optik to'liqlarni yoki yorug'likni yutilishi, sochilishi va aks etishi bilan shartlanadi.

3. Qurilmaning asosiy parametrlarini berilgan texnik normalar doirasidan chiqmaydigan to'liq uzunligi diapazoni $\lambda_{min} \dots \lambda_{maks}$ yoki chastota diapazoni $f_{min} \dots f_{maks}$ ishchi deyiladi.

4. Asosiy parametrlari berilgan texnik normalar doirasidan chiqmaydigan quvvat sathi ruxsat etiladigan hisoblanadi. Ruxsat etilgan sathdan yuqori quvvati signal o'tganda, qurilmani kuyishi istisno etilmaydi. Boshqa parametrlar muayyan qurilmalarni bajaradigan vazifadan kelib chiqqan holda aniqlanadi.

5.2. NURLANISHNI KIRITISH VA CHIQARISH QURILMALARI

Nurlanishni kiritish va chiqarish qurilmalari maksimal mumkin bo'lgan quvvatni mos ravishda manbadan tolaga va toladan fotoqabulqilgichga uzatishni ta'minlashi kerak. Bu qurilmaning tuzilishi, nurlanish manbalari, fotoqabulqilgichlar va optik tola xarakteristikalarini bilan aniqlanadi.

Yorug'lik diodlari kam yorqinli va katta nurlanish maydonli (to'g'ri keladigan qiymatlar $S=0,2 \dots 5,6 \text{ mm}^2$) va teskari, yuqori yorqinli va kichik nurlantiruvchi yuzali bo'lishi mumkin. Oxirgilarni (shuningdek, injeksion lazerlarni) bevosita tutashadigan joyida optik tolaga ulash mumkin.

Ko'p moddali tolada nurlanishni kiritishdagi yo'qotishlar:

$$\alpha_{nk} \approx \eta + A_{akse} + A_{mar} \quad (5.3)$$

bunda $h=10\lg(P_{n.m}/P_{ot})$ -kiritish samaradorligi, dBq;

$P_{n.m.}$ —nurlanish manbaining quvvati, W;

P_{ot} —optik tolaga kiritilgan quvvat, W;

$A_{aks.e}$ —aks etish hisobiga yo'qotishlar, dBq;

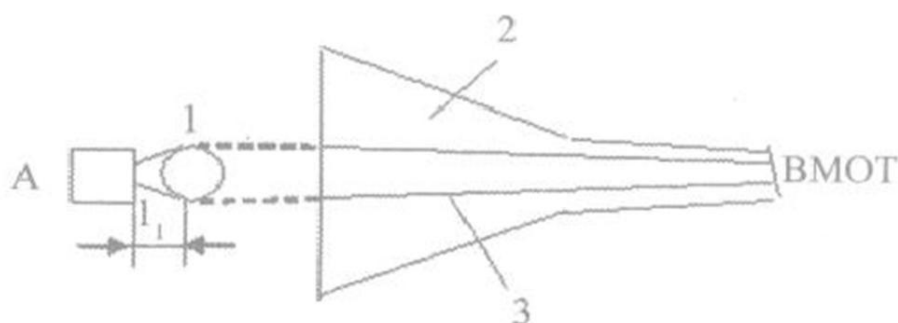
A_{nur} —modalarning statsionar holati o'rnatiladigan to'ldirishda nurlanish yo'qotishlari, dBq.

Nurlanish manbaini ko'p moddali tola bilan eng yaxshi va barqaror moslashuvi, nurlanish manbai yuzasini to'rt to'ldirishli qatlam $n_T = \sqrt{n_{HM} \cdot n_{ot}}$ bilan qoplash va tirqishni n_{ot} li immersion suyuqlik bilan to'ldirish hisobiga erishiladi. Bunda aks etish yo'qotishlari kam.

Nurlanishni bir moddali tolaga kiritishdagi muammolardan biri lazer nurlantirgan to'ldirish va yorug'lik diodini asosiy moddalari NE_{11} maydonlarining taqsimlanishini mos kelmasligi hisoblanadi.

Bu mos tushmaslik, optik signallarni kiritish qurilmalarni juda katta aniqlikda tayyorlanishini talab etadi.

Optik signallarni kiritish qurilmalaridan biri konus shaklidagi qurilma (5.2-rasm) hisoblanadi. Konus ko'ndalang yuzasini katta diametrlarida (1...2 mm) yuqori tartibli moddalar hosil bo'lishi mumkin. Buni bartaraf etish maqsadida konusni ko'ndalang yoni va lazer o'rtasiga faza korrektsiyalovchi element-sferik linza kiritiladi. Bunday qurilma 1,6...2,2 dB samaradorlikka ega [4].



5.2-rasm. Nurlanishni kiritish qurilmasi:

A – nurlanish manbayi; BMOT – bir moddali optik tola; 1 – sferik linza; 2 – bir moddali optik konus; 3 – o‘zak.

5.3. AJRALADIGAN VA AJRALMAYDIGAN OPTIK ULAGICHLAR

TOA liniyalari bo‘ylab axborotni uzatishni eng muhim masalalaridan biri optik tolalarning ishonchli ulanishini ta‘minlash hisoblanadi. Optik ulagich – bu nurlanishni kiritish va chiqarish joyida, tolali optik aloqa liniya traktining turli komponentlarini ulash uchun mo‘ljallangan qurilma. Ulagichlar optoelektron modullarni (qabul qilgich va o‘tkazgichlarni) kabel tolalari bilan ulaydi, kabelning qurilish uzunliklarini bir-biri yoki boshqa komponentlar

bilan ulaydi. Ulagichlar ajraladigan va ajralmaydiganga bo'linadi. Ajralmaydigan ulagichlar kabel tizimlarini doimiy montaj joylarida qo'llaniladi. Ajralmaydigan ulanishni ta'minlovchi, asosiy montaj usuli payvandlash hisoblanadi. Ajraladigan ulagichlar (konnektor, connectors termini keng qo'llaniladi) ko'p martalab ulash/ ajratish imkonini beradi [1].

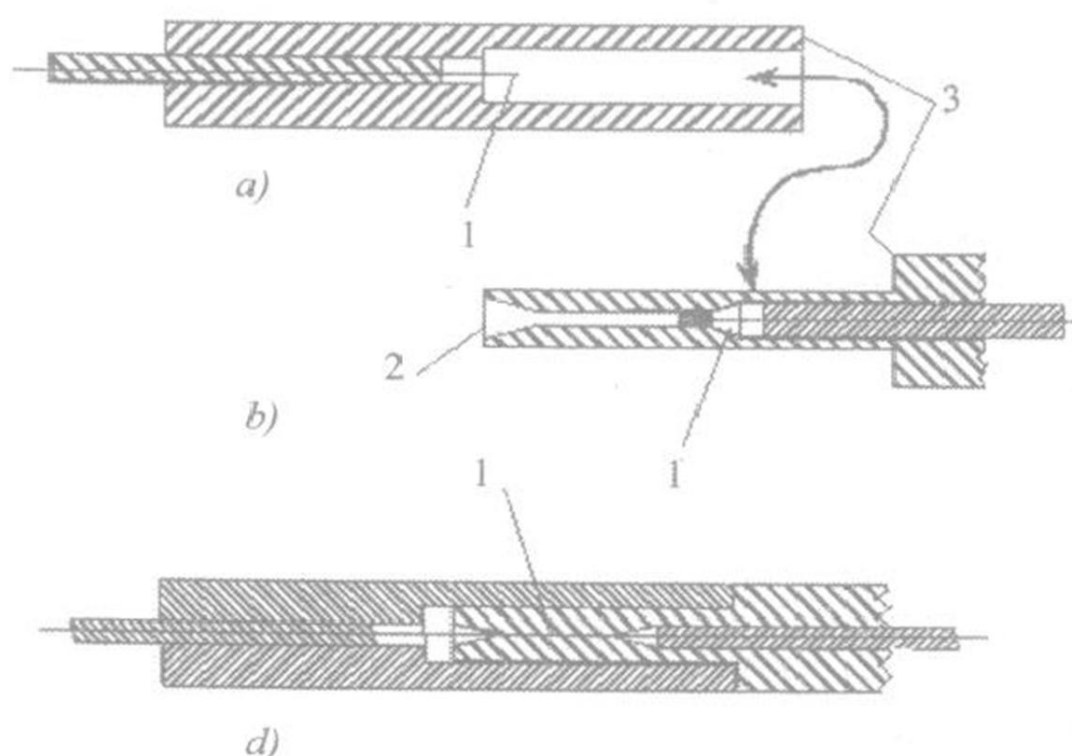
Amaliyotda ajraladigan optik ulagichlar kabelning ikkala oxirida va ajralmaydigan optik ulagichlar oraliq seksiyalarni ulashda qo'llaniladi. Bunga quyidagilar sababdir: ajralmaydigan ulagichlar kirituvchi yo'qotishlar sathi minimal bo'lib, 1 ta ulagichda 0,04 dBni tashkil etadi. Ajraladigan optik ulagichlar kirituvchi yo'qotishlar esa katta. Bundan tashqari, ajralmaydigan ulagichlar aniq doimiylikni ta'minlaydi, bu ajraladigan optik ulagichlarni yuqorida aytib o'tilgandek, bir necha va ko'plab ulash ajratish kutiladigan joylarda, masalan, kommutatsion panellarda yoki ulanishli krosslarda ishlatishni talab etadi.

Agar biz qurilmani almashtirishni istasak, unda buni ajralmaydigan optik ulagichlarga qaraganda ajraladigan optik ulagichlar orqali amalga oshirish qulay [6].

✓ 5.3.1. AJRALADIGAN OPTIK ULAGICHLARNING TUZILISHI

5.3-rasmda shtekerli ajraladigan optik ulagich ko'rsatilgan. Bu ulagichda uya va shtir qismlari ulanadi. Ulanishdan so'ng gayka bilan mustahkamlanadi. 5.3-rasmda ulagichning uyali qismining yuzasida rezba va gayka ko'rsatilmagan [4].

Ulagichlarga quyidagi talablar qo'yiladi: kirituvchi yo'qotishlari teskari va teskari aks etishlari kam, tashqi mexanik, iqlim va boshqa ta'sirlarga bardoshli, yuqori ishonchli tuzilishi sodda va ko'p martalab takroriy ulanishlardan so'ng xarakteristikalarini bir ozgina yomonlashishi kerak.



5.3-rasm. Shtekerli ulash:

a — uya; b — shtir; d — ajraladigan ulagich; 1 — tola; 2 — kanal; 3 — birlashuvchi yuzalar.

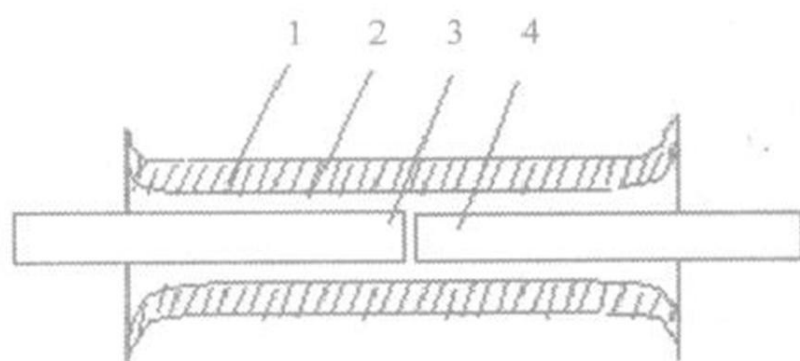
5.3.2. OPTIK TOLALARNI AJRALMAYDIGAN ULASHLAR

Ajralmaydigan optik ulashni keng tarqalgan usullaridan biri shishadan tayyorlangan **trubka** yordamida ulash hisoblanadi (5.4-rasm). Bunday ulashda kiritiluvchi soʻnish qiymati 0,29 dBni tashkil etadi.

Dumaloq ariqchali—plastina yordamida tolalarni ulash“(5.5-rasm) usulida kiritiladigan soʻnish sathi 0,5 dB ni tashkil etadi [4]. Tola oxirlari aniq markazlashtirilib, soʻng yopishtiriladi yoki payvandlanadi.

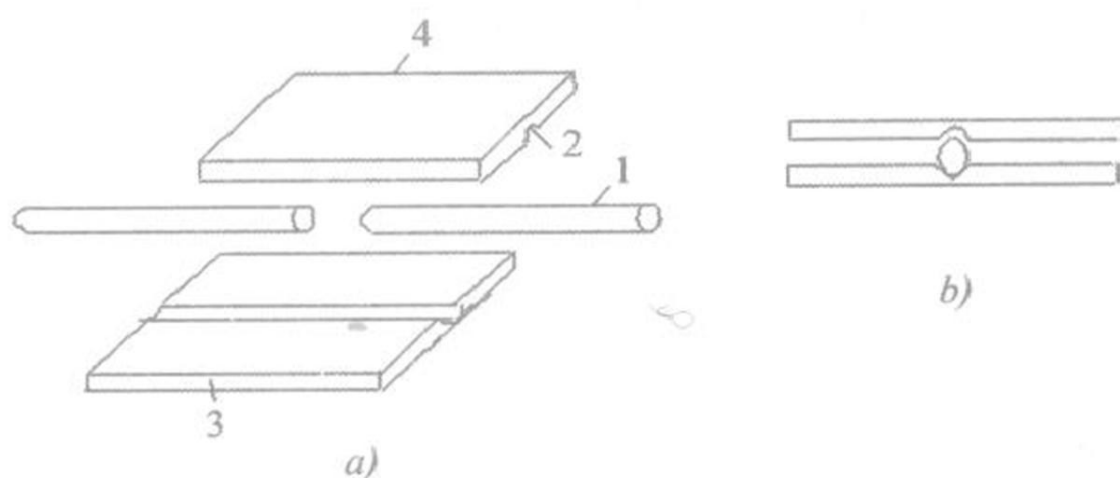
Optik tolalarni doimiy ulash uchun payvandlashdan keng foydalaniladi. Hozirda payvandlash qurilmalari, amaliyoti

takomillashib bormoqda. Natijada payvandlashli ulash usuli qo'llanilganda kiritiluvching so'nish qiymatlari bir moddali va ko'p moddali tolalar uchun 0,04 – 0,1 dB ni tashkil etadi.



5.4-rasm. Trubka yordamida tolani ulash:

1 – vtulka; 2 – yopishtiruvchi kompaundni quyish uchun teshik; 3, 4 – tola.



5.5-rasm. Dumaloq ariechali plastina va V-turdagi forma yordamida tolani ulash:

1 – tola; 2 – ariechalar; 3 – plastina; 4 – qopqoq.

Ko'p moddali tolalarda payvandlashli ulash sifatiga ta'sir qiluvchi, tolani o'ziga bog'liq bo'lgan omillar mavjud. Bu omillarga tola diametrlarini, sonli aperturalarini va sindirish ko'rsatkichlarini mos kelmasligi, o'zakni qobiq markazida joylashmasligi kiradi.

Bir moddali tolalarda (dispersiyasi siljimagani holda) payvandlash sifatiga ta'sir qiluvchi asosiy omil bu tolalarni modda maydoni diametrlarini mos kelmasligi hisoblanadi. Shuningdek, bo'yлама va burchakli siljishlar, o'zakning ifloslanishi va deformatsiyasi ham payvandlash sifatiga ta'sir qiluvchi omillardir. Bu omillarni ta'siri malakali texniklar, tolani avtomatik tenglashtiruvchi qurilmalarni va zamonaviy payvandlash qurilmalarni ishlatish hisobiga minimumga yetkazilishi mumkin [6].

5.4. OPTIK TARMOQLAGICHLAR: DARAXTSIMON VA YULDUZSIMON TARMOQLAGICHLAR, SHAXOBLANTIRGICH

TOA tizimlarining eng muhim passiv elementlaridan biri optik tarmoqlagich (coupler) hisoblanadi. Tarmoqlagichlar kabelli televideniening 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 [1]. Tarmoqlagichlar yorug'lik oqimlarni bir necha yo'nalishlarga ajratadi yoki bir necha oqimlarni bitta yo'nalishga birlashtiradi.

Splitter (cplitter), odatda, bir kirish va bir necha chiqishdan iborat qurilma. U signallarni ikki yo'nalishda uzatish uchun yoki oqimni ikki yoki undan ortiq qurilmalarga va foydalanuvchilarga taqsimlash uchun ishlatilishi mumkin.

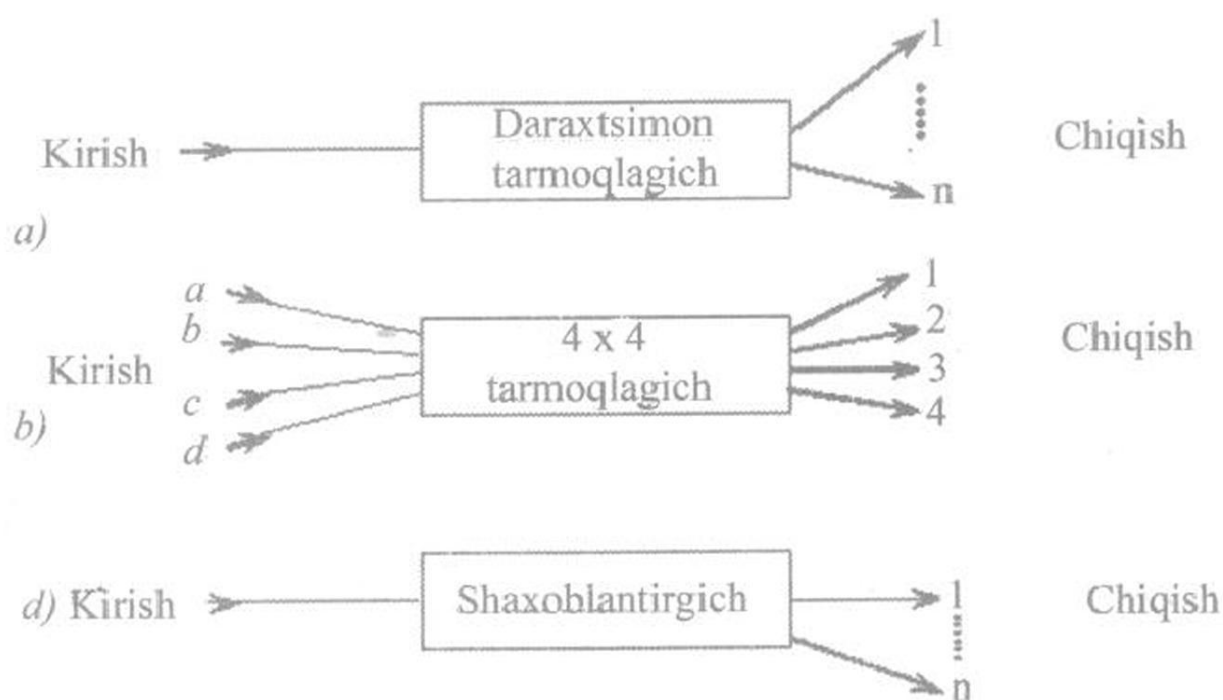
Kombayner (combiner), odatda, bitta chiqish va ikki yoki undan ortiq kirishga ega qurilma. U bir yo'nalishli yoki ikki yo'nalishli operatsiyalarni bajarish uchun qo'llanilishi mumkin [6].

Tarmoqlagichni – asosiy turlari quyidagilardir: daraxtsimon tarmoqlagich; yulduzsimon tarmoqlagich; shaxoblantirgich.

Daraxtsimon tarmoqlagich (tree coupler) signal oqimini bitta

kirishga qabul qilib, uni bir necha chiqishlarga taqsimlovchi va bunga teskari vazifani bajaruvchi qurilma. U signalni manbadan bir necha foydalanuvchilarga taqsimlash uchun qo'llaniladi (5.6 -a rasm). Odatda daraxtsimon tarmoqlagichlarda quvvat hamma chiqishlarga teng taqsimlanadi. Daraxtsimon tarmoqlagichning hozirgi modelida chiqishlar soni 2 dan 32 gacha bo'lishi mumkin. Ko'pgina daraxtsimon tarmoqlagichlar signallarni birlashtirish vazifasini ham bajarishi mumkin.

Yulduzsimon tarmoqlagichda (star coupler) kirish va chiqishlar soni bir xil. Optik signal n kirishlardan biriga tushadi va n chiqishlar o'rtasida teng taqsimlanadi. 2×2 va 4×4 yulduzsimon tarmoqlagichlar keng tarqalgan. Aralashtirib yubormaslik uchun kirishlar lotin harflari va chiqishlar son bilan belgilangan (5.6- b rasm). Yulduzsimon tarmoqlagichlar barcha chiqishlar o'rtasida quvvatni teng daraja taqsimlaydi.



5.6- rasm. Tarmoqlagich turlari:

- a) daraxtsimon tarmoqlagich; b) yulduzsimon tarmoqlagich;
d) shaxoblantirgich.

Shaxoblantirgich (ответвитель) (tap)—bu chiqishlariga quvvat teng taqsimlanmaydigan, daraxtsimon tarmoqlagichni ng umumlashganidir (5.6 - v rasm). Ular 1x2, 1x3, 1x4, 1x5, 1x6, 1x8, 1x16, 1x32 tuzilishli bo'lishi mumkin. Chiqish quvvatining ma'lum bir qismi (50% dan kam) shaxoblantirgich kanaliga (kanallariga) boradi, katta qismi esa magistral kanalda qoladi. Chiqishlari quvvatni kamayishi tartibida raqamlanadi [1]. Optik tarmoqlagichlar selektiv (to'liqin uzunligiga sezgir) va noselektiv (to'liqin uzunligiga sezgir bo'lmagan)ga bo'linadi. Yuqorida ko'rib chiqilgan optik tarmoqlagichlar noselektiv elementlarga kiradi.

5.5. OPTIK ATTENYUATORLAR

Optik attenuatorlar kirish optik signallarning quvvatini kamaytirish maqsadida ishlatilindi. Raqamli signallarni uzatishda ham, analog signallarni uzatishda ham bunga zaruriyat vujudga kelishi mumkin. Katta sathli raqamli signallarni uzatishda qabul qiluvchi optoelektron modulning to'yinishiga olib kelishi mumkin. Analog signallarni uzatganda xaddan tashqari katta sath nochiziqli buzilishlarga va tasvirni yomonlashishiga olib keladi [1].

Attenuatorlar ko'pincha lazer uzatgichdan keyin joylashtiriladi. Attenuatorlar lazerning chiqish quvvatini, undan keyingi EDFA kuchaytirgichlari kabi qurilmalar talab etadigan sath bilan moslashtiradi.

Yorug'lik jadalligi fotodiodning dinamik diapazoni doirasidan chiqadigan darajada katta bo'lgan, qisqa optik tolali seksiyalarda attenuator o'rnatish mumkin.

Ular intensivlikni qabul qilgichning dinamik diapazoniga mos keladigan sathgacha kamaytiradi [6].

Ishlash prinsipi bo'yicha attenuatorlar so'nish qiymati bo'yicha o'zgaruvchan va so'nish qiymati qayd etilgan turlarga bo'linadi.

O'zgaruvchan attenyuatorlar so'nish qiymatini 0 – 20 dB oraliq-gacha o'zgarish imkonini beradi.

Qayd etilgan attenyuatorlarda so'nish qiymati ishlab chiqaruvchi tomonidan o'rnatilgan bo'ladi. Ularning qiymati 0, 5, 10, 15 yoki 20 dBni tashkil etishi mumkin [1].

Attenyuatorlar tomonidan kiritiladigan so'nish $\pm 15\%$ dan oshiq bo'lmasligi kerak.

Optik aks etish qobiliyati maksimal -40 dB sathda bo'lishi kerak. Attenyuatorlarni ishchi to'lqin uzunliklari diapazoni maksimal 1360 nm dan 1580 nm gachani, minimal 1200 nm dan 1480 nm gachani tashkil etishi kerak.

Tipik ishchi to'lqin uzunligi kengligi 1310–1580 nm. Attenyuatorlarda QMDga bog'liq bo'lgan yo'qotishlar 0,3 dB dan yuqori bo'lmasligi kerak [6].

Optik signal tola bo'ylab tarqalib, turli bir turda emasliklardan, ayniqsa optik ulangan joylardan aks etadi.

Bunday aks etish natijasida energiyaning qandaydir bir qismi teskari tomonga qaytadi.

Agar lazer nurlanish manbalaridan foydalanilsa, aks etgan signal lazerni rezonatoriga tushib, majburiy (indutsiyalangan) kuchayish qobiliyatiga ega bo'lib, parazit signallarni hosil qiladi. Ayniqsa, manba raqamli va keng polosali signallarni nurlantirganda bunday aks etishlar kamroq bo'lishi kerak.

Ko'proq konnektor ulanishlariga va boshqa optik qurilmalarga (tarmoqlagich, spektr bo'yicha zichlashtirish qurilmalari, optik kuchaytirgichlar) ega murakkab keng polosali tarmoqlarda bunday teskari aloqa kuchayadi va nurlanish manbaini shovqin sathini oshishiga olib keladi.

Teskari oqimlarni bartaraf etish optik izolyatorlarni qo'llashga asoslangan.

Optik izolyatorlar deyarli yo'qotishlarsiz yorug'likni bir yo'nalishda uzatishni, boshqa (teskari) yo'nalishda esa katta so'

nish bilan uzatishni ta'minlaydi. Hozirgi kunda optik izolyatorlar ko'pgina lazerli tizimlar va optik kuchaytirgichlarning asosiy elementi hisoblanadi, shuningdek optik aloqa liniyasining alohida elementi sifatida ham qo'llaniladi.

Optik izolyatorning ishi Faradey effekti bo'ylama magnit maydon ta'sirida optik noaktiv modda bilan yorug'lik qutblanishi tekisligining buzilishiga asoslangan.

Qutblanish tekisligining burilish burchagi $q = VB_z d$ ga teng, bunda V —Verde doimiysi (verdet)-moddaning tabiati, harorati va yorug'likning to'lqin uzunligiga bog'liq bo'lgan, solishtirma magnit burilishi;

B_z —magnit maydon induksiyasini bo'ylama tashkil etuvchisi;

d —moddada yorug'lik yo'lini uzunligi—Faradey yacheykasi o'lchami.

Burilish yo'nalishi faqatgina modda tabiati va magnit maydon yo'nalishiga bog'liq.

Qutblanish tekisligining magnit burilishi, magnit maydon ta'sirida moddaning optik xususiyatlarini asimmetriyasini yuzaga kelishi bilan shartlanadi.

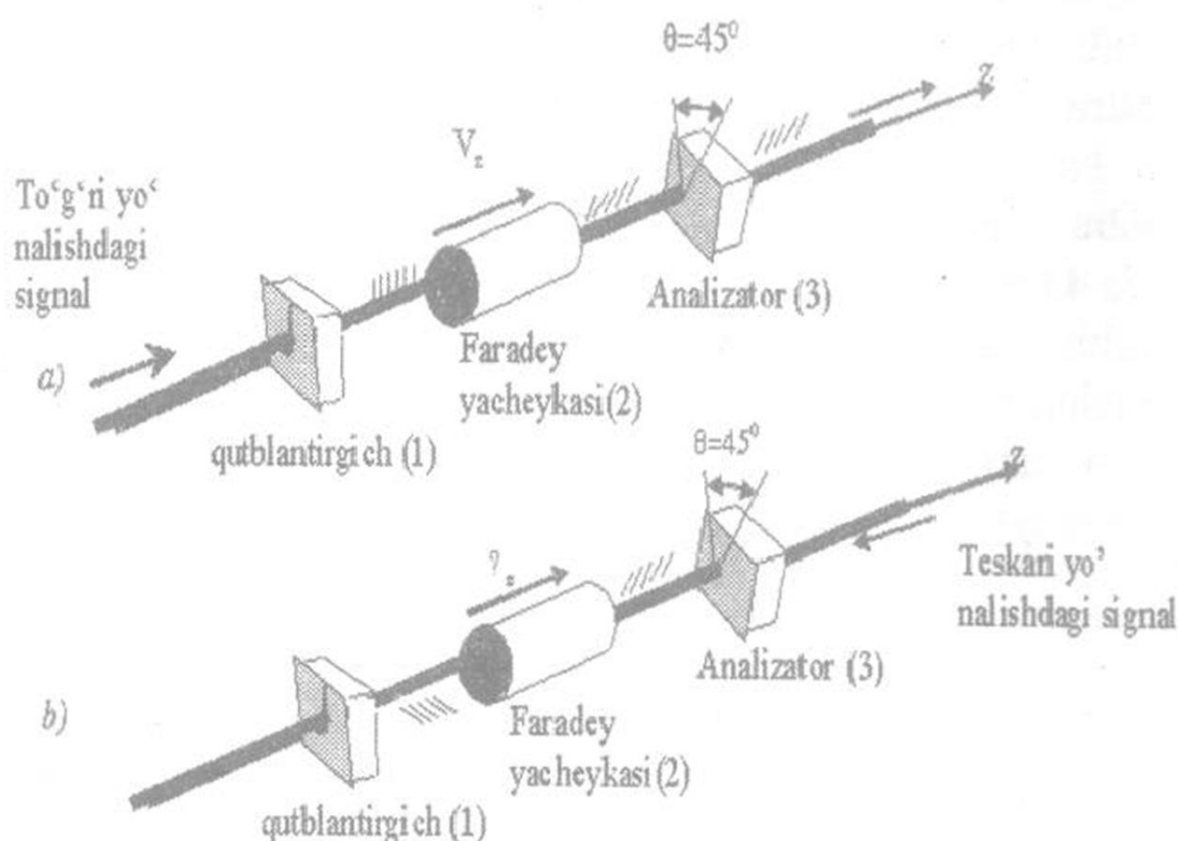
Qutblanish tekisligi burilishini to'lqin uzunliga bog'liqligi aylanma dispersiya deyiladi.

Optik izolyatorning ishlash printsipli.

Optik izolyator uch elementdan tashkil topgan: qutblantirgich (1), Faradey yacheykasi (2) va analizator (3) chiqish qutblantirgichi (5.7-rasm).

Faradey yacheykasining parametrlari shunday tanlanadiki, undan o'tadigan yorug'likni qutblanish o'qi 45° ga buriladigan bo'lishi kerak. Qutblantirgichni o'qi ham shunday burchak ostida o'rnatiladi.

Foydali kirish signali qutblantirgich (1) orqali o'tib, gorizontal tashkil etuvchisini bartaraf etib, o'zining vertikal tashkil etuvchisini o'zgarishsiz qoldiradi.



5.7-rasm. Optik izolator sxemasi:

a) – to'g'ri yo'nalishdagi foydali signal erkin o'tadi; b) – teskari yo'nalishdagi signal qutblan-tirgichda yutiladi.

So'ng vertikal qutblangan yorug'lik Faradey yacheykasi (2) orqali o'tadi, qutblanish tekisligini 45° ga buradi va analizator (3) orqali qarshiliksiz o'tadi.

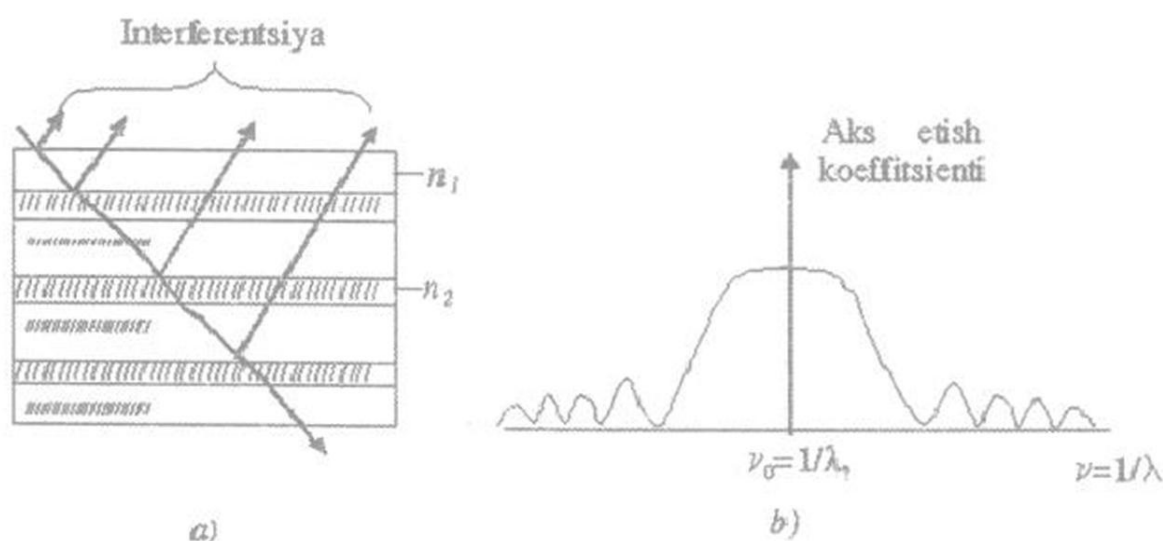
Yorug'likni teskari yo'nalishda tarqalishida (5.9-rasm) u yana analizator (3) tekisligida qutblanadi, so'ng Faradey yacheykasi (2) orqali o'tib, gorizontaal qutblangan holga keladi. Shu tariqa, yorug'likni qutblanish va qutblantirgich (1) o'qlari 90° burchakni tashkil etadi, shuning uchun qutblantirgich (1) teskari nurlanishni o'tkazmaydi[1].

5.7. OPTIK FILTRLAR

Optik filtrlar umumiy uzatilayotgan optik spektrdan optik kanallarni ajratish uchun qoʻllaniladi. Filtrlar qoʻshni optik kanallarni bartaraf etish imkoniyatiga ega, chunki fotoqabulqilgichlar spektral tanlashga ega emas. Optik filtrlar sifatida demultipleksorlar ham qoʻllanilishi mumkin.

Alohida optik filtrlar koʻp qatlamli dielektrik tuzilish va difraktsion panjaradan iborat boʻladi.

Koʻp qatlamli dielektrik tuzilishli optik filtrlarning ishlash prinsipi quyidagi rasmda tasvirlangan (5.8-rasm).



5.8-rasm. Koʻp qatlamli dielektrik filtrning ishlash prinsipi:

a – koʻp qatlamli dielektrik tuzilish; *b* – aks etish koeffitsiyentining spektral bogʻliqligi.

Koʻp qatlamli tuzilishda turli sindirish koʻrsatkichli ikki turdagi dielektriklar oʻzaro ketma-ketlikka ega.

Qatlamning qalinligi a ($1/4$) λ da (tanlangan optik kanalning toʻlqin uzunligi) tushish burchagini $a \{ (1/4) \lambda \cos a \}$ toʻgʻrilashni

hisobga olsak, tushayotgan nur ketma-ket qatlamlar chegarasida qisman qaytadi. 1 to'liq uzunlikli nurlanish sinfaz qaytadi va yig'iladi, qolgan nurlanish kuchsiz qaytadi va yutiladi.

Qatlamlarning qalinligini o'zgartirib, filtrlarning o'tkazish polosa-sini o'zgartirish mumkin.

Hozirgi kunda qo'shni optik kanallar orasidagi masofa 100 GHz ni tashkil etadi ($Dl=0,8$ nm) va 50 GHz ($Dl=0,4$ nm) da qo'shni kanallar orasidagi masofa o'tish taxmin qilinadi.

Nazorat savollari:

1. Optik tarmoqlagichlarning turlari va ularning vazifalarini tushuntiring.

2. Passiv optik qurilmalar qanday parametrlar bilan xarakterlanadi?

3. Nurlanishni kiritish qurilmasi qanday tuzilgan?

4. Qismlarga ajraladigan va ajralmaydigan optik ulagichlar qachon qo'llaniladi?

5. Shtekerli optik ulagich qanday tuzilgan?

6. Optik tolalarni ajralmaydigan ulashning qanday usullarini bilasiz?

7. Optik attenuatorlar qanday maqsadlarda qo'llaniladi?

8. Optik izolyatorlarning vazifasi va ularning ishlash prinsipini tushuntiring.

9. Optik filtrlarning vazifasi nimadan iborat?

10. Optik filtrlarning ishlash prinsipini tushuntiring.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Ubaydullaev R.R. Volokonno-opticheskie seti.-M.: Eko-Trendz, 2000.
2. Volokonno – opticheskie sistemi peredachi: uchebnik dlya visshix uchebnix zavedeniy / M.M. Butusov, S.M. Vernik, S.L. Galkin, V.N. Gomzin, B.M. Mashkovtsev, K.N. Shchelkunov; Pod red. V.N. Gomzina.–M.: Radio i svyaz, 1992.
3. Galyardi R.M., Karp Sh. Opticheskaya svyaz: Perevod s angliyskogo S.M. Babiya pod red. A.T. Sheremeteva.–M.: Svyaz, 1978.
4. Opticheskie sistemi peredachi: Uchebnik dlya vuzov/B.V. Skvortsov, V.I. Ivanov, V.V. Kruxmalev i dr.; Pod red. V.I. Ivanova.-M.: Radio i svyaz, 1994.
5. Tsifrovie i analogovie sistemi peredachi: Uchebnik dlya vuzov/ V.I. Ivanov, V.N. Gordienko, G.N. Popov i dr.; Pod red. V.I. Ivanova.- 2-e izd. –M.: Goryachaya liniya – Telekom, 2003.
6. Friman R. Volokonno-opticheskie sistemi svyazi: Perevod s angliyskogo pod red. N.N. Slepova.–M.: Texnosfera, 2003.
7. Vlasov I.I., Ptichnikov M.M. Izmereniya v tsifrovix setyax svyazi. M.: Postmarket, 2004.
8. Slepov N.N. Sovremennie texnologii tsifrovix optovolokonnix setey svyazi:-M.: Radio i svyaz, 2000.
9. Vasilev V.N. Volokonno-opticheskie svetovodi: uchebnoe posobie, TUIT, Tashkent, 2002.
10. Vishnevetskiy A.G. Telekommunikatsionnie sistemi peredachi (chast vtoraya); konspekt lektsiy, TUIT, Tashkent, 2004.
11. E.B. Aynakulov. Metodi kontrolya kanalov peredachi informatsii. Uchebnoe posobie dlya studentov visshix uchebnix zavedeniy. "Aloqachi", Tashkent. – 2007. 144s.

MUNDARIJA

KIRISH	3
1.TOLALI OPTIK ALOQA LINIYALARI	6
1.1. O'zbekistonda tolali optik aloqa liniyalari istiqbollari	6
1.2. Optik aloqaga oid asosiy tushunchalar	7
1.3. TOAning afzalliklari, kamchiliklari.....	9
va qo'llanish sohalari	9
1.4. Optik aloqa tizimlarining tuzilish prinsiplari	14
1.5. Raqamli va analog TOA tizimlari	17
1.6. TOA liniyalarini zichlashtirish usullari.....	21
2. OPTIK TOLA UZATISH PARAMETRLARI	30
1.1. Optik yorug'lik uzatgichlar, ularning turlari. Optik tolaning tuzilishi	30
2.2. Optik tola bo'ylab yorug'lik nurining tarqalish nazariyasi	32
2.3. Optik tola turlari va ularning tavsiflari. Bir moddali va ko'p moddali optik tolalar. Pog'onali, gradiyent va maxsus sindirish ko'rsatkichli optik tolalar	37
2.4. Optik tolaning asosiy parametrlari.....	44
2.5. Tolaning xususiy yo'qotishlari.....	46
N^o 2.6. Kabel yo'qotishlari	48
2.7. Dispersiya	51
2.7.1. Modalararo dispersiya.....	52
2.7.2. Xromatik dispersiya.....	54
2.7.3. Material dispersiyasi	54

2.7.4. To'liqin uzatish bilan bog'liq dispersiya.....	55
2.7.5. Qutblangan modda dispersiyasi	57
2.8. Dispersiyani kamaytirish usullari	59
2.9. Tolali optik kabellar	61
2.10. Optik nurlanish manbalariga qo'yiladigan talablar.....	62
2.11. Optik signalning uzatuvchi kogerent va nokogerent nurlanish manbalarining ishlash printsplari	64

3. YORUG'LIK VA LAZER DIODLAR..... 74

№3

3.1. Yorug'lik diodlarining turlari, tavsif va parametrlari	74
3.2. Lazer diodi (LD), uning tavsif va parametrlari.....	86
3.3. Ko'p moddali yoki Fabri-Pero rezonatorli lazerlar.....	89
3.4. Bir moddali lazerlar	97
3.5. Optik signalni uzatuvchi modul	100
3.6. Fotoqabulqilgichlarning asosiy tavsif va parametrlari	107
3.8. Ko'chkisimon fotodiodlar.....	114

4. OPTIK ALOQA TIZIMLARI..... 119

4.1. Optik signalni qabul qiluvchi modul.....	119
4.2. Raqamli tolali optik aloqa tizimlarining liniya trakti.....	120
4.3. Retranslyatorlar av ularning turlari.....	122
4.4. Optik signallarni regeneratsiyalash. Regeneratarning tuzilishi va ish prinsipi	125
4.5. Optik kuchaytirgichlar	128
4.6. Kremniy va fluor-sirkonat asosidagi EDFA kuchaytirgichlari, ularning xarakteristikallari.....	131
4.7. Optik kuchaytirgichlarning parametrlari.....	135
4.8. Raqamli tolali optik aloqa tizimlarining liniya kodlari	137

4.9. Liniya kodlarining turlari va ularning shakllanishi	138
5. OPTIK TOLALARNI ULASH.....	147
5.1. Passiv optik qurilmalarning asosiy parametrlari.....	147
5.2. Nurlanishni kiritish va chiqarish qurilmalari	149
5.3. Ajraladigan va ajralmaydigan optik ulagichlar	150
№4 5.3.1. Ajraladigan optik ulagichlarning tuzilishi.....	151
5.3.2. Optik tolalarni ajralmaydigan ulashlar.....	152
5.4. Optik tarmoqlagichlar: daraxtsimon va yulduzsimon tarmoqlagichlar, shaxoblantirgich	154
№5 5.5. Optik attenyuatorlar	156
5.7. Optik filtrlar	

A. XOLIQOV, I. KOLESNIKOV,
E. AYNAKULOV,

**TOLALI OPTIK
ALOQA
LINIYALARI**

Kasb - hunar kollejlari uchun o'quv qo'llanma

«Noshir» — Toshkent — 2012

Muharrir X. Po'latxo'jayev
Texnik muharrir D. Mamadaliyeva
Rassom Sh. Odilov
Musahhih S. Safayeva
Sahifalovchi Z. Shukurxo'jayev