

ЎЗБЕКИСТОН АЛОҚА ВА АХБОРОТЛАШТИРИШ
АГЕНТЛИГИ

ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ
УНИВЕРСИТЕТИ

ОПТИК АЛОҚА АСОСЛАРИ
ўқув қўлланма

Тошкент 2006

Т.ф.н., доцент Исаев Р.И. раҳбарлиги остида
Автор: Миразимова Г.Х.

«Оптик алоқа асослари», ТАТУ. Тошкент, 2006, 118 бет

Ўқув қўлланмада оптик алоқа тизимлари ҳақида асосий тушунчалар, оптик тола, унинг турлари, тавсифлари ва параметрлари, толада нурнинг тарқалиши тўлиқ тушунтирилган.

Оптик алоқа тизимларининг элемент базаси, оптик сигналларни узатувчи ва қабул қилувчи қурилмалар, мультиплексор ва демultipлексор, оптик улагичлар, аттенюаторлар, тармоқлагичлар, оптик изоляторлар кўриб чиқилган.

Оптик нурланиш манбалари ва қабул қилувчи фотодиодлар алоҳида бўлимларда батафсил ёритилган. Шунингдек, рақамли оптик алоқа линияси, оралиқ қурилмалар-оптик регенератор ва оптик кучайтиргичлар, рақамли оптик линия кодлари ҳақида тушунчалар берилган.

Ўқув қўлланма «Телекоммуникация» йўналиши бўйича кундузги ва сиртдан таълим олувчи талабаларга мўлжалланган.

Кириш

Замонавий давр жамиятни ахборотлаштириш жараёнини кескин ривожланишга олиб кирмоқда. Бу жараён ахборот-коммуникациялар хизматларидан фойдаланувчиларни телекоммуникациялар тармоқларига юқори тезлик билан (кенг полосали) уланишга ундайди. Бундай талаб Интернетдан фойдаланувчиларнинг кескин ўсиб бориши ва мультимедия, видеоконференция, электр рақамли имзодан фойдаланиш, электрон тижорат, электрон хужжат айланиш ва бошқа бир қанча замонавий хизматларни ҳаётга кириб келишидан чиқиб келяпти.

Маълумки, юқори тезликдаги сигналларни узатиш ва қабул қилиб олиш учун юқори даражада ўтказиш қобилиятига эга бўлган йўналтирувчи муҳит бўлиши керак. Бундай талабларга жавоб берадиган оптик алоқа воситаларига тенг келувчи воситалар ҳозирги кунда мавжуд эмас. Бундан ташқари, оптик алоқа тизимлари орқали катта ҳажмдаги ахборотларни хоҳлаган масофаларга узатиш мумкин.

Шунинг учун оптик алоқа жамиятни ахборотлаштириш жараёнини ривожлантирувчи мукаммал ва истикболли алоқа воситаси ҳисобланади.

Фотон технологияси асосидаги оптик алоқа (ОА), яъни тўлиқ оптик тармоқлар АОН (All-optical Networks) телекоммуникация тармоқларининг келажаги ҳисобланади. Тўлиқ оптик алоқа магистрал тармоқларни, шунингдек абонентларнинг тармоққа уланишини ҳам қамраб, миқдорларнинг телекоммуникация тармоқларига кенг полосали уланишларини таъминлайди. Фотон технологияси асосидаги тўлиқ оптик алоқада коммутация, мультиплексорлаш ва регенерациялаш оптоэлектрон ёки электрооптик эмас, балки фақат оптик технология асосида амалга оширилади. Бу билан қурилманинг техник иқтисодий кўрсаткичлари, ишончилиги ва узатиш тезлиги бир неча мартага ошади. Фотон технологиясини алоқа тармоқларига тадбиқ этишда оптик коммутаторлар, оптик регенераторлар, кучайтиргичлар, филтрлар, спектр бўйича зичлаштириш тизимлари қўлланилади.

Оптик алоқанинг ривожланиш тарихига назар ташласак, шуни айтиб ўтиш жоизки, цивилизациянинг бошланғич даврларида ҳам инсон ахборотларни узоқ масофаларга узатишда оптик сигналлардан фойдаланган. Бунинг учун кундуз куни у, мисол учун тутунли сигналлардан ёки акс этган қуёш нуридан, тунда эса олов сигналларидан фойдаланган. Вақт ўтиши билан у қуруқликда машина телеграфи, денгизларда байроқли сигнализация ва сигнал лампалари билан алмашган. Ўз навбатида, телефон ва телеграф радиоалоқаси билан алмашди.

1882 йил америкалик олим А. Белл томонидан овозли ахборотни ёруғлик нури кўринишида узатиш имконини берувчи оптик телефон ишлаб чиқилди.

Фан-техника, квант физикаси, оптоэлектроника бўйича эришилган ютуқлар, оптик квант генераторларининг (лазерларни) яратилиши билан оптик алоқа ривожланишининг замонавий даври бошланди.

60-йиллар бошида биринчи лазер яратилди. Тракт сифатида ер усти атмосфера қатлами, яъни очиқ алоқа линияси ишлатилган. ²озирда бундай тизимлар космосда, баъзи хорижий мамлакатларда кўп қаватли баланд биноларда қўлланилмоқда.

70-йилларда кварц шиша материалидан олинган толанинг нурни ютувчи қўшимчаларни олиб ташлаш йўли билан сўниш қийматларини камайтириш усули яратилди ва 1979 йилга келиб, оптик толанинг сўниш қийматлари 0,2 дБ/км гача камайтириш мумкинлиги аниқланди. ²озирги кунда нафақат сўниш қийматлари, балки спектр бўйича зичлаштирилган тизимларнинг бир неча тўлқин узунликларини битта тола орқали бир вақтда узатиш имконини берувчи, дисперсия қиймати минимал бўлган бир модали толалар ҳам яратилган. Бундай толалар Люсент Техноложиз, Корнинг каби кўплаб хорижий компаниялар томонидан ишлаб чиқарилмоқда.

²ар бири 20 Гбит/с тезликли 55 та канални мультимплексорлаб, битта тола орқали узатиш мумкин, бунда йиғинди тезлик 1,1 Тбит/с ни ташкил этади.

Ўзбекистон республикасида ҳам жамиятни ахборотлаштириш борасида кўпгина ишлар амалга оширилди ва бу ишлар давом этмоқда. Бу мақсадда 1995 йил 1 августда Вазирлар Маҳкамаси томонидан «2010 йилгача муддатда Ўзбекистон Республикаси телекоммуникация тармоқларини ривожлантириш ва реконструкция қилиш Миллий дастури» қабул қилинди. Ушбу дастурга мувофиқ 1995-1997 йилларда ТОО (Транс-Осиё-Овропа) магистралининг жаҳон стандартларига мос келувчи, рақамли транспорт тармоғи Миллий сегментини қуриш бошланди ва узунлиги 830 км дан ортиқ магистрал ТОО (толали оптик алоқа) линияси фойдаланишга топширилди. ТОО Миллий сегментида Сименс (Германия) фирмасининг толали оптик кабелларидан фойдаланилди.

1995-2000 йилларда ОЕСФ (Япония) лойиҳаси доирасида 1080 км узунлигида ²удудий ТОО линияси қурилди ва фойдаланишга топширилди.

1996-1997 йилларда Тошкент шаҳрида “Сименс” толали оптик кабелларини қўллаб барча электрон АТСларни ва шунингдек тугунли аналог АТСлар бирлаштирувчи катта транспорт халқа қурилди.

2001 йилда ЕДСФ (Корея) лойиҳаси асосида Андижон ва Фарғона вилоятларининг ҳудудий телекоммуникация тармоқларини қайта таъмирлаш амалга оширилди. Лойиҳа натижасида умумий узунлиги 354 км бўлган ҳудудий ТОО линияси қурилди.

²озирда ташқи иқтисодий бирдамлик Япония банки кредити ҳисобига Фарғона водийсининг учта вилояти халқали тармоқларини қуриш, қашқадарё, Сирдарё вилоятларида халқали ҳудудий телекоммуникация тармоқларини қуриш, Бухоро-Нукус участкасида ТОО линиясини Бухоро-Навои-Зарафшон-Учкудук-Нукус ТОО линияси орқали резервлаш ишлари амалга оширилмоқда. Бу лойиҳа доирасида 2000 км магистрал, 700 км ҳудудий ТОО линияларини қуриш назарда тутилган.

Бу лойиҳа ўз-ўзини тикловчи ҳалқа тузилиши ва рақамли узатиш тизимларини қўллаш асосида канал ва трактларнинг захирасини таъминлайди, натижада алоқа тармоқларининг ишончилиги янада ошади.

Ўзбекистон телекоммуникация тизимининг 28 та йўналиш бўйича дунёнинг 180 та мамлакатига чиқадиган тўғридан-тўғри халқаро каналлари мавжуд. Буларда ҳам толали оптик ва шунингдек сунъий йўлдошли тизимларидан фойдаланилмоқда. Бутун тармоқ нафақат ҳозирда, балки кейинчалик ҳам ҳозирдан кўпроқ ахборот ўтказиш қувватига эга.

Замонавий ахборот-коммуникация технологияларининг ҳаётга тадбиқ этилиши, фан техниканинг жадал ривожланиши билан билимларнинг тезда янгиланиши ўқувчилар олдига ана шу билимларни тизимли ва мустақил эгаллаш вазифасини қўяди.

1. ОПТИК АЛОҚА ²АҚИДА АСОСИЙ ТУШУНЧАЛАР

1.1. Оптик алоқа, унинг афзалликлари ва қўлланиш соҳалари

Оптик алоқа (ОА) бу ахборот ёру^{1/2}лик нури кўринишида оптик тола бўйлаб ёки очик фазо-атмосферада узатиладиган алоқа туридир. Ахборот тола орқали узатилса, толали оптик алоқа (ТОА), очик атмосферада узатилса, очик оптик алоқа (ООА) дейилади.

ОА нинг асосий йўналиши ТОА ҳисобланади. Чунки ҳозирги вақтда юқори даражадаги узатиш характеристикаларига эга бўлган нур ўтказувчи толалар ишлаб чиқилган. Аммо ахборотларни очик фазода, атмосферада узатишга асосланган ООА ҳам, радиоалоқа учун ажратилган частоталарни тўлдирувчи восита сифатида қизиқишларни намоён этади.

ТОА тармо^{1/2}и - бу тугунлар ораси оптик алоқа линиялари орқали бо^{1/2}ланган алоқа тармо^{1/2}идир.

Ахборотни ТОА линиялари орқали узатиш мис кабеллар ва бошқа узатиш муҳитларига қараганда бир қанча афзалликларга эга. Шу афзалликлари туфайли ТОА дан нафақат телефон алоқасини ташкил этишда, балки телевидениеда, овоз эшиттиришларини узатишда, ҳисоблаш техникасида, транспорт воситаларида ва бошқа соҳаларда кенг фойдаланилмоқда.

ТОАда узатиш канали сифатида қўлланиладиган оптик толаларнинг афзалликлари қуйида келтирилган.

Ўтказиш оралији кенг. Бу ташувчи частотасининг жуда юқорилиги (10^{14}) Гц билан тушунтирилади. Битта оптик тола бўйлаб секундига бир неча терабит ахборотлар оқимини узатиш имконияти мавжуд. Ўтказиш орали^{1/2}ининг кенглиги оптик алоқанинг мис ва бошқа ахборот узатиш муҳитларидан устун турувчи энг муҳим афзаллигидир.

Оптик толада ёру^{1/2}лик сигналларининг кам сўниши.

Ҳозирги кунда кўплаб компаниялар томонидан ишлаб чиқарилаётган оптик толалар 1 канал километр ҳисобида 1,55 мкм тўлқин узунлигида 0,2-0,3 дБ/км сўнишга эга. Сўниш ва дисперсия қийматларининг кичиклиги оптик сигналларни алоқа линиялари бўйлаб регенерациясиз 100 км ва ундан узоқ масофаларга узатиш имконини беради.

Шовқин сатҳининг кичиклиги оптик толанинг ўтказиш қобилятини оширади.

Шовқиндан ҳимояланганлиги юқори. Оптик тола диэлектрик материаллар – кварц, кўп таркибли шиша, полимерлардан тайёрланганлиги учун у электромагнит нурланишни индукциялаш хусусиятига эга, атрофидаги мис кабелли тизим ва электр қурилмаларнинг (электр узатиш линиялари, электродвигателли ускуна ва бошқалар) ташки электромагнит шовқинларига таъсирчан эмас. Шунингдек, кўп толали оптик кабелларда кўп жуфтли мис кабелларга хос электромагнит нурланишларнинг ўзаро таъсири каби муаммолар юзага келмайди [1].

Бу афзаллиги туфайли оптик кабеллардан ишлаб чиқариш корхоналарида, бошқарув марказларида, самолёт ва кема каби транспорт воситаларида фойдаланган маъқулдир. Чунки шу каби кичик жойларда ҳам энергетик қурилмалар, ҳам автоматика ва телебошқарув тизимлари, ҳам кўп сонли абонент қурилмаларидан иборат тармоқланган алоқа тармоқлари жойлашган бўлади [2]. Бундай ҳолатда электромагнит ва ўзаро шовқинлар юзага келади. Оптик кабелларнинг эса бундай шовқинларга таъсирчан эмаслигини айтиб ўтдик.

Енгиллиги, ҳажми ва ўлчамларининг кичиклиги. Оптик кабеллар мис кабеллар билан солиштирилганда, анча енгил ва ғажми кичик. Масалан, 900 жуфтли 7,5 см диаметри мис телефон кабели 0,1см диаметри битта оптик тола билан алмаштирилиши мумкин. Агар оптик тола бир неча ҳимоя қобиқларидан иборат ва брон пўлат лента билан қопланган бўлса, бундай тола диаметри 1,5 см га тенг бўлади, бу эса қўрилаётган мис кабель диаметридан бир неча марта кичик.

Оптик толанинг бу афзаллиги оптик кабелли линия трактларини қуришда анча енгилликлар яратади. Енгиллиги ва ўлчамининг кичиклиги туфайли оптик толанинг самолёт, вертолёт ва бошқа транспорт воситаларида ишлатилиши оптик алоқанинг жуда муҳим ютуғидир. Масалан, ахборотларни йиғиш ва бошқариш вазифаларини бажариш учун махсус жиҳозланган самолётларда боғловчи кабеллар оғирлигини 1 тоннадан ортқ камайтиради [2].

Алоқанинг маҳфийлиги. Толали оптик кабеллар радио диапазонида умуман нур узатмаслиги сабабли, ундан узатилаётган ахборотни узатиб-қабул қилишни бузмасдан рухсатсиз ташқи уланишларда эшитиш жуда қийин. Оптик алоқа линиясининг мониторинг тизими (узлуксиз назорат) толанинг юқори сезгирлик хусусиятини қўллаб, дарҳол рухсатсиз ташқаридан эшитилаётган алоқа каналини ўчириши ва хавф (тревога) сигналини узатиши мумкин.

Тарқалувчи оптик сигналларнинг интерференция эффектини қўловчи тизимлар тебранишларга, босимнинг озгина оғишларига сезувчанлиги жуда юқори. 2укумат, банк ва маълумотлар ҳимоясига юқори талаблар қўйиладиган бошқа махсус хизматларнинг алоқа линияларини ташкил этишда бундай тизимлар айниқса зарурдир [1].

Ёнғиндан ҳимояланган. Оптик толада учқун ҳосил бўлмаслиги кимёвий, нефтни қайта ишловчи корхоналарда, портлаш ва ёнғин хавфи мавжуд бўлган биноларда хавфсизликни оширади.

Иқтисодий самарадор. Оптик тола кварцдан ишлаб чиқарилади. Унинг асосини табиатда кенг тарқалган кремний икки оксиди - SiO_2 ташкил этади. Демак, толали оптик кабелларни ишлаб чиқариш учун ноёб рангли металл сарфланмайди. Мис ва қўроғининг дунёвий захиралари чегараланган ҳозирги вақтда ноёб бўлмаган маҳсулотга ўтиш кабелли алоқа техникасининг келгуси ривожланиши учун муҳим омил ҳисобланади. Натижада оптик кабелларнинг нархи мис кабелларга нисбатан арзонлашади.

Толали оптик кабеллар сигналларни узоқ масофаларга ретрансляциясиз узатиш имконини беради. Узоқ масофа алоқа линияларида оптик кабелларнинг қўлланилиши ретрансляторлар сони қисқаришига олиб келади. Натижа сарф харажатлар ҳар камаяди.

Фойдаланиш муддати узоқ. Тола вақт ўтган сари эскиради, яъни ётқизилган кабелларда сўниш аста-секин ошиб боради. Бироқ оптик тола ишлаб чиқаришнинг замонавий технологияларининг мукаммаллашуви бу жараёни секинлаштиради ва фойдаланиш муддатини узайтиради. Толали оптик кабеллардан фойдаланиш муддати тахминан 25 йилни ташкил этади.

Масофавий электр таъминотга эга эканлиги. Баъзи ҳолларда тармоқ тугунларининг масофавий электр таъминоти талаб этилади. Буни оптик тола орқали амалга ошириб бўлмайди. Бу ҳолда оптик тола билан биргаликда мис ўтказиш элементи билан жиҳозланган аралаш кабеллардан фойдаланиш мумкин. Бундай кабеллар кўпгина мамлакатларда кенг қўлланилади. [1]

2озирги кунда турли вазифали ва тузилишли оптик тола ва кабеллар ишлаб чиқарилмоқда. Кенг полосали узоқ алоқа тизимлари, жумладан магистрал алоқа учун толадан фақатгина асосий тўлқин тарқаладиган бир модали кабелларнинг янги турлари ишлаб чиқарилмоқда. Магистраль алоқа линияларида сигнал узатишда толанинг сўниш ва дисперсия параметрларига ҳам юқори талаблар қўйилади. Бундан ташқари, оптик нурланиш қутбланиши сақланишини таъминловчи толалар ҳам ишлаб чиқарилмоқда.

Магистраль алоқада қўлланиладиган бундай кабелларни ишлаб чиқиш мураккаб ва қиммат. Бундай кабеллар қўлланилганда лазер узатгичлардан фойдаланилади. Лазер узатгичларга ҳам нурланиш спектрининг тозалигига, нурланиш тасвирларининг барқарорлигига юқори талаблар қўйилади.

Тезлиги 100 Мбит/с гача бўлган ва алоқа масофаси чегараланган (тахминан 10 км гача) тизимларда нисбатан арзон ва охириги қурилмалар билан осон мослашадиган кўп модали кабеллардан фойдаланган маъқул. Бунда тўлқин манбаи сифатида кўп модаларни нурлантирувчи оддий турдаги ярим ўтказгич ёру¹/₂лик диодларини ишлатиш мумкин.

Янги турдаги оптик толаларнинг (силжиган дисперсияси нолга тенг бўлмаган), кенг полосали квант оптик кучайтиргичларнинг яратилиши тўлиқ оптик тизим ва оптик трактларни қуриш имкониятини яратмоқда. Бундай технологиялардан 100 ва 1000 Гбит/с ўтказиш оралиқли тизимларни яратишда фойдаланилади.

ТОА бир қанча афзалликларга эга бўлишига қарамай, камчиликлари ҳам мавжуд. Бу ТОА қурилмаларининг қимматлиги ва баъзи оптик технологияларнинг мукаммал даражага етмаганлиги билан тушунтирилади. Бунга бо¹/₂лик ҳолда қуйидаги камчиликларни айтиш мумкин:

- элемент базасининг қимматлиги. Оптик узатгич ва қабул қилгичларнинг нархи қиммат. Айниқса лазер нурланиш манбаларининг нархи қиммат ва хизмат қилиш муддати чегараланган. Шунингдек пассив оптик қурилмаларни (мультиплексор, коммутатор, аттенюатор ва бошқалар) ишлаб чиқариш ҳам катта сарф-харажатларга олиб келади;

- толали оптик алоқа линияларини монтаж қилиш ва хизмат кўрсатишнинг мураккаблиги. Электр кабелли тизимларга нисбатан оптик кабелли тизимларни қуриш, ундан техник фойдаланиш, ўлчов ва монтаж ишлари мураккаб бўлиб, жуда юқори малакани талаб этади;

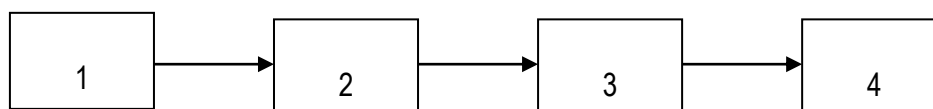
- толани махсус ҳимоялаш зарурияти. Микроёриқларда сигналларнинг йўқолмаслиги учун толани ортиқча юклаш ва букилишлардан ҳимоялаш керак. Махсус ҳимоялашни ташкил этиш, ишончлиликини ошириш мақсадида оптик толани ишлаб чиқариш жараёнида тола эпоксиакрилад асосидаги махсус лак билан қопланади. Бундан ташқари, кабель махсус пўлат тросс ва шиша пластик стерженлар ҳисобига янада мустаҳкамланиши мумкин. [1]

Буларнинг барчаси оптик кабел нархини оширади. Бу камчиликлар ОА технологиясининг келгуси ривожланишида қисман ёки тўлиқ бартараф этилади.

1.2. ОА тизимларининг тузилиш принциплари

ОА да ахборотларни ёру^{1/2}лик ёки оптик сигналлар кўринишида узатиш ва қайта ишлаш амалга оширилади. ОА учун ёру^{1/2}лик нурланиши ва тўлқин узунлиги турини танлаш узатилаётган ахборот характериға, шунингдек нурланиш ҳосил қилиш имконияларига, ундан сигнал шаклланишиға, ёру^{1/2}лик тўлқинини узатиш ва қайта ишлашға ва ниҳоят, ахборотға эға сигнални қабул қилишға бо^{1/2}лик.

ОА тизимининг умумлашган тузилиш схемаси 1.1 – расмда келтирилган. Схема ОА нинг турлари ТОА ва ООА га хос стандарт блоклардан (элементлардан) ташкил топган. [3]



1.1 – расм. ОА тизимининг умумлашган тузилиш схемаси:

- 1 – ахборотлар манбаи;
- 2 – оптик узатгич ва модулятор;
- 3 – оптик канал;
- 4 – оптик қабул қилгич

Ахборотлар манбаидан узлуксиз ёки рақамли сигналлар берилади. Сўнг сигналлар ёру^{1/2}лик оқими-ташувчи частотанинг электромагнит тебранишларини модуляциялайди.

Сўнг ёру^{1/2}лик нури кўринишидаги оптик сигналлар узатувчи муҳит - оптик канал орқали тарқалади. Узатувчи муҳит юқорида айтиб ўтилгандек очик фазо, атмосфера, яъни ООА линияси ёки ТОА линияси бўлиши мумкин. Узатилган ахборотлар оптик қабул қилгич демодуляторида демодуляцияланади. Демодуляторнинг асосий элементи оптик фотодетектор ҳисобланади. Сигналларни узок масофаларға узатишда, қачонки қабул

қилгич киришида сигнал/шовқин нисбати талаб даражасидан паст бўлганда, линияда ретрансляторлар ўрнатилади.

ТОА тизимининг тузилиш схемасини (1.2 – расм) тўлиқ кўриб чиқамиз. ТОА тизимининг тузилиш схемаси таркибига қуйидагилар киради [4]:

УТ – узатиш тизими;

Мқ – мослаштирувчи қурилма;

ОУз – оптик узатгич;

ОТ – оптик тола;

ОР – оптик регенератор;

КОК – квант оптик кучайтиргичи;

Оққ – оптик қабул қилгич.

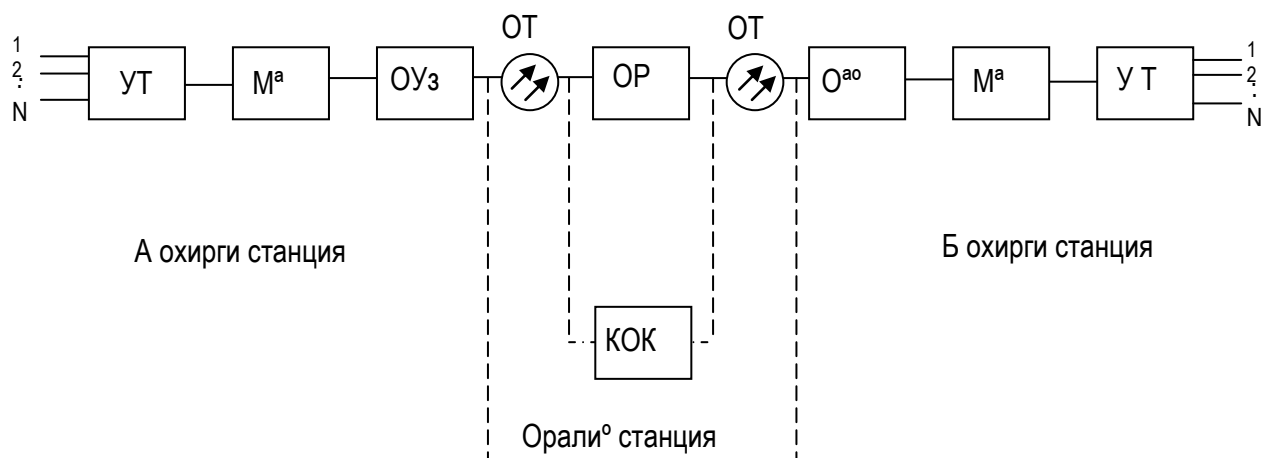
УТ, Мқ, ОУз ва УТ, Мқ, Оққ мос равишда А ва Б охириги станцияларининг узатиш ва қабул қилиш трактларини ташкил этади. Оралик станцияларда ОР, КОК ўрнатилади. Толали оптик линия трактига ОУз, ОТ, ОР, КОК, Оққ киради.

1.2 – расмда кўрсатилганидек, узатувчи станциядан N бирламчи электрик сигналлар узатиш тизимига тушади. УТ чиқишидан кўп каналли электр сигнали мослаштирувчи қурилмага берилади. Мқ да бу сигнал толали оптик линия тракти бўйлаб узатиладиган кўринишга ўзгартирилади. Оптик узатгичда электр сигнали оптик ташувчини модуляциялаш йўли билан оптик сигналга айланади. Сўнг бу оптик сигнал оптик тола бўйлаб узатилади.

Оптик сигнал тола бўйлаб тарқалганда сўнади ва бузилади. Оптик сигналларни узоқ масофаларга узатиш мақсадида маълум ораликларда сигналларнинг бузилиш даражасига қараб регенераторлар ёки квант оптик кучайтиргичлар ўрнатилади. Регенератор киришида оптик сигналлар электр сигналига, чиқишида эса электр сигналдан оптик сигналга айлантирилади, яъни регенераторларда электр сигналлар кучайтирилади, соزلанади ва бошлан¹/₂ич шакли тикланади. Квант оптик кучайтиргичлари қўлланилганда эса сўнган оптик сигналлар электр сигналига айлантириб ўтилмасдан кучайтирилади.

қабул қилувчи Б охириги станцияда тескари жараён амалга оширилади. ОА да оптик ташувчини информатсион сигнал билан модуляциялаш учун частота модуляцияси (ЧМ), фаза модуляцияси (ФМ), амплитуда модуляцияси (АМ), кутбланган модуляция (кМ), жадаллик бўйича модуляциялаш ва модуляциянинг бошқа турларини қўллаш мумкин. Оптик нурланишнинг жадаллик бўйича модуляциялаш тури кўпроқ қўлланилади. Бунга сабаб, бу модуляция тури кенг частота диапазонида оптик узатгичларда қўлланиладиган оддий техник қурилмалар ярим ўтказгич нурланиш манбалари (ёру¹/₂лик диоди, лазер диодлар) учун бажарилади. Ярим ўтказгич манбанинг нурланиш жадаллигини бошқариш учун модуляциялайдиган сигнал билан мос ҳолда инжекция токини ўзгартириш етарлидир. Бу ток кучайтиргич кўринишидаги электрон схема ёрдамида осон амалга оширилади. Оптик нурланишнинг жадаллик бўйича модуляцияси тескари жараён-оптик сигнални электр сигналига айланиш масаласини енгиллаштиради. Дарҳақиқат, фотоқабул қилгич таркибига кирувчи

фотодетектор квадратик асбоб ҳисобланиб, унинг чиқишидаги ток оптик майдон амплитудасининг квадратига пропорционал.



1.2 – расм. ТОА тизимининг тузилиш схемаси

Жадаллик бўйича модуляцияланган оптик сигнални бевосита фотодетекторга бериб, осонгина унинг бошлан¹/₂ич сигнал кўринишини сақлаган электр сигналига айлантириш мумкин. Оптик сигналларни қабул қилишнинг бу усули тў¹/₂ридан-тў¹/₂ри фотодетекторлаш усули дейилади.

²озирги кунда ОА нинг охирги қурилмалари сифатида рақамли узатиш тизимлари (РУТ)дан фойдаланилмоқда. Чунки РУТ аналог узатиш тизимларига қараганда қуйидаги афзалликларга эга: шовқин бардошлилиги юқори, сигнални узатиш сифати линия тракти узунлигига кам бо¹/₂лик, техник иқтисодий кўрсаткичлари юқори ва бошқалар. Каналлари частота бўйича бўлинган аналог узатиш тизимларининг бир қанча камчиликлари туфайли уларнинг ОА да қўлланилиши чегараланган.

1.3. ОА тизимларини таснифлаш ва икки томонлама ТОА ни тузиш усуллари

қўлланиладиган модуляция турига қараб ОА тизимлари аналог ва рақамлига бўлинади.

Аналог ОА тизимларида модуляциянинг аналог усуллари: жадаллик бўйича модуляциялаш, амплитуда, частота ва фаза модуляцияси турлари қўлланилади. Оптик нурланиш манбаларининг юқори ночизиклилиги ва аналог узатиш учун талаб этиладиган шовқин бардошлиликни таъминлаш техник мураккаблиги сабабли аналог ОА тизимларидан фойдаланиш чегараланган. Шунга қарамай, бир қатор соҳаларда қўлланилади (оптик кабелли телевидениеда, телеметрия, оператив ва хизмат алоқа тизимларида).

Рақамли ОА тизимларида модуляциялашнинг дискрет усулларида фойдаланилади. Бунда сигнал ташувчининг бирон-бир параметри дискрет

ўзгаради, яъни бошлан¹/₂ич параметрнинг қийматлар соҳаси квантлаш сатҳларига бўлинади, ҳар бир квантлаш сатҳига мос равишда аниқ дискрет сигнал қўйилади.

Вазифаси ва сигналларни узатиш масофасига кўра ОА тизимлари магистрал, зона, шаҳар ва қишлоқ алоқа тизимларига бўлинади. Магистрал ОА тизимлари сигналларни 1000 км га, зона ОА тизимлари сигналларнинг 600 км га узатиш, шаҳар ОА тизимлари шаҳар телефон тармо¹/₂ининг бо¹/₂ловчи линияларини зичлаштириш учун хизмат қилади.

ТОА тизимлари линия тракти тузилишига қараб қуйидагиларга бўлинади:

- икки толали бир полосали бир кабелли (тўрт ўтказгичли бир полосали бир кабелли);
- бир толали бир полосали бир кабелли (икки ўтказгичли бир полосали бир кабелли);
- бир толали кўп полосали бир кабелли ёки спектр бўйича зичлаштирилган тизимлар.

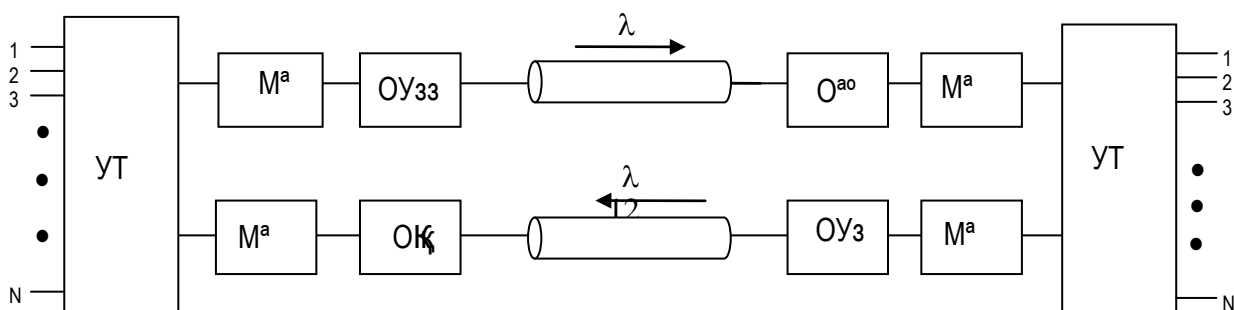
1.2 – расмда кўрсатилган ТОА нинг тузилиш схемаси фақат узатишнинг бир йўналишини кўрсатади.

Бундай тузилишда оптик сигналларни узатиш ва қабул қилиш икки тола бўйлаб (1.3 – расм), битта λ тўлқин узунлигида амалга оширилади. 2ар бир оптик тола икки симли физик занжирга ўхшайди, чунки кабелнинг оптик толалари орасида ўзаро ўтишлар бўлмайди [4]. Шунинг учун ТОА нинг узатиш ва қабул қилиш трактлари битта кабель бўйлаб ташкил этилади, яъни ТОА бир кабелли ҳисобланади. Шу тарзда, берилган оптик линия трактини ташкил этиш схемаси икки толали бир полосали бир кабелли ҳисобланади.

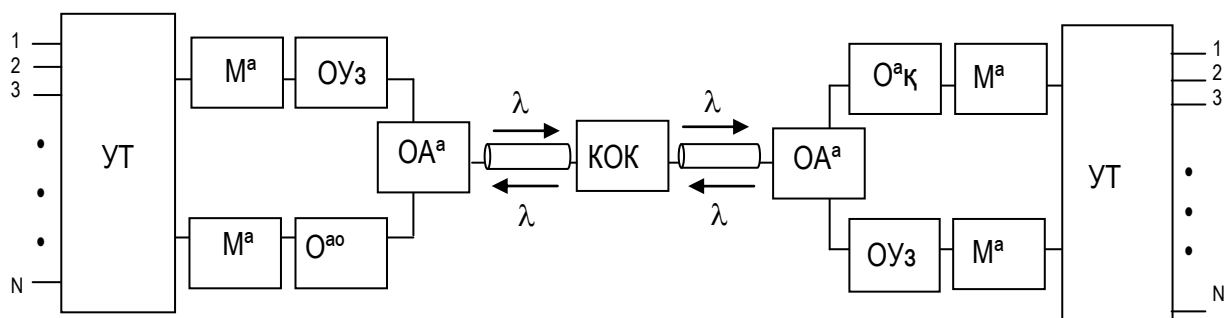
Ушбу алоқа ташкил этиш схемасининг афзаллиги бу охириги ва оралик станцияларнинг узатиш ва қабул қилиш қурилмаларининг бир турдалигидир. Камчилиги эса оптик тола (ОТ) ўтказиш қобилиятидан фойдаланиш коэффиценти жуда кичик.

Кабель қурилмаларига кетадиган харажатлар оптик алоқа тизимлари нархининг катта қисмини ташкил этишини, оптик кабель нархи етарли даражада қимматлигини ҳисобга олсак, оптик толадан бир вақтда катта ҳажмдаги информацияни узатиш ҳисобига унинг ўтказиш қобилиятидан фойдаланиш самарадорлигини ошириш масаласи юзага келади. Бунга масалан, битта оптик тола (ОТ) бўйлаб карама-қарши йўналишдаги сигналларни узатиш ҳисобига эришиш мумкин.

Бир толали бир полосали бир кабелли оптик линия трактининг тузилиш схемаси 1.4 – расмда кўрсатилган. ОТ ни бир тўлқин узунлигида иккала йўналиш сигналлари учун қўлланилиши бу схеманинг хусусияти ҳисобланади. [4]



1.3-расм. Икки толали бир поласали бир кабелли ТОА схемаси



1.4-расм. Бир толали бир поласали бир кабелли ТОА схемаси

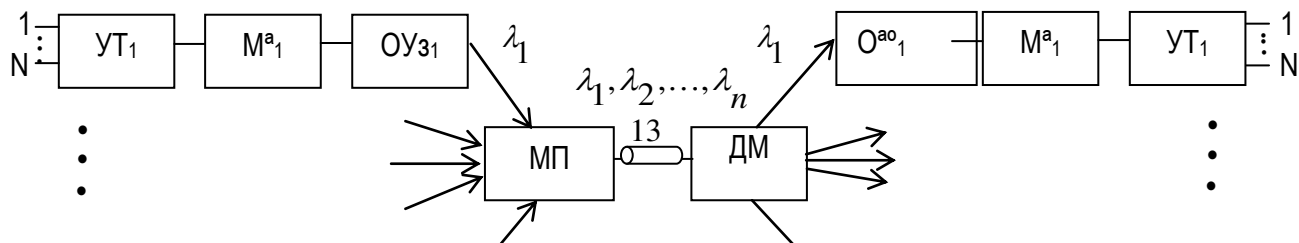
қарама-қарши икки ёқлама сигналларни узатганда оқимлар орасида ўзаро ўтиш шовқинлари ҳосил бўлади. Ўтиш шовқинлари ОТ ва тармоқлагичлардаги тескари ютилишдан, ёру^{1/2}ликнинг уланган жойлардан ва линия охиридаги ажраладиган улагичлардан қайтиши натижасида вужудга келади.

Шовқин сатҳи ва унинг спектр таркиби узатилаётган сигналнинг узатиш тезлигига, импульс шаклига ва линия тракти параметрлари (тола сўниши, тўлқин узунлиги, сонли апертура, синдириш кўрсаткичи)га бо^{1/2}лик.

Тўлқин узунлиги 1,55 мкм ва узатиш тезлиги 35 Мбит/с дан юқори бўлса, бир ОТдан қарама - қарши йўналишли сигналларни узатувчи ТОАда ўтиш шовқинлари кичик бўлиб, оптимал иш режимига эга бўлади.

Спектр бўйича зичлаштирилган (бир толали кўп поласали бир кабелли) ТОАда бир оптик тола бўйлаб бир вақтда спектр бўйича ажратилган бир неча оптик ташувчилар узатилади. Бундай тизимларни тузиш қўлланадиган спектр орали^{1/2}ида оптик кабелнинг сўниш коэффицентини оптик ташувчи частотасига (ёки тўлқин узунлигига) нисбатан кам бо^{1/2}лиқлигига асосланади. Шунинг учун бир оптик тола бўйлаб ахборотларни узатишнинг натижавий тезлигини ошириб, бир неча кенг оралиқли оптик каналларни ташкил этиш мумкин.

Оптик каналлари спектр бўйича ажратилган ТОАнинг тузилиш схемаси 1.5-расмда кўрсатилган [5].



1.5-расм. Спектр бўйича ажратилган ТОАнинг тузилиш схемаси

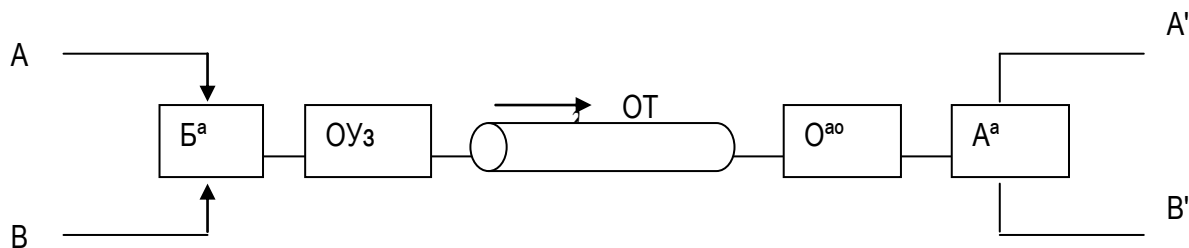
Узатувчи станциянинг n тизимларидан сигналлар n оптик узатгич ОУЗ га узатилади. ОУЗ чиқишидаги $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ тўлқин узунликли турли оптик ташувчилар мультиплексор (МП) ёрдамида бир оптик толага киритилади. қабул қилувчи станцияда демультиплексор (ДМ) ёрдамида $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ тўлқин узунликли турли оптик ташувчилар ажратилади ва оптик қабул қилгич (ОҚ) га берилади. Шу тарзда, бир оптик тола орқали n спектр бўйича ажратилган оптик каналлар ташкил қилинади, яъни ўтказиш қобилятидан фойдаланиш коэффициенти бошқа анъанавий тузилган оптик тизимларнинг линия трактига нисбатан n марта ошади.

Оптик ташувчиларни бирлаштириш ва ажратиш учун турли оптик спектрал қурилмалар қўлланилиши мумкин: мультиплексор ва демультиплексорлар. Уларнинг иши физик оптиканинг дисперсия, дифракция ва интерференция ходисаларига асосланган. Мультиплексор ва демультиплексорларнинг тузилиши асосида оптик призма, кўп қатламли диэлектрик, дифракцион панжара ва бошқалар бўлиши мумкин.

1.4. ТОА линияларини зичлаштириш усуллари

Толали оптик алоқа линияларининг қуйидаги зичлаштириш усуллари мавжуд: вақт бўйича, частота ва спектр бўйича.

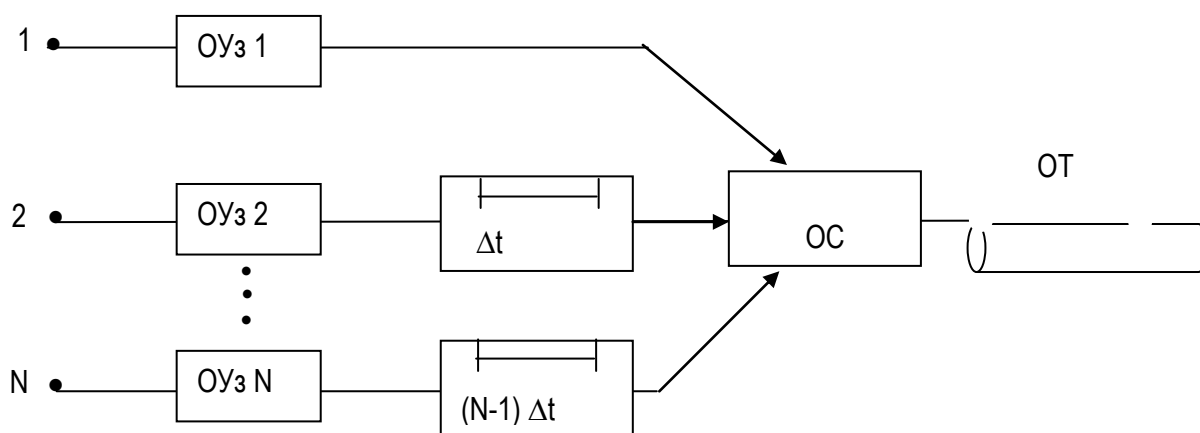
Вақт бўйича зичлаштириш. Бу усулда бир неча информацион оқимларни битта оқимга бирлаштириш назарда тутилади. Бирлаштириш электрик сигналлар ва оптик сигналлар даражасида амалга оширилиши мумкин. Электрик сигналлар даражасида вақт бўйича зичлаштирилган ТОА линия трактининг тузилиш схемаси 1.6-расмда кўрсатилган. [4]



1.6-расм. Электрик сигналлар даражасида вақт бўйича зичлаштирилган ТОАнинг линия тракти

А ва В киришдан тушаётган электрик сигналларнинг икки қисм импульслари (N манба бўлиши мумкин) бирлаштирувчи қурилма (Бқ) ёрдамида аниқ кетма-кетликка эга гуруҳли сигналга бирлаштирилади. Гуруҳли сигнал оптик узатгич ОУз да оптик ташувчини модуляциялайди. Оптик нурланиш ОТ бўйлаб тарқалади ва оптик қабул қилгич Оққ да қайтадан электр сигналига ўзгартирилади. Сўнг бу сигнал ажратувчи қурилма (Ақ) ёрдамида A^1 ва B^1 чиқишларига бериладиган импульсларга ажратилади.

Оптик ва рақамли оқимларни бирлаштириш схемаси 1.7 – расмда кўрсатилган. [4]



1.7-расм. Оптик сигналлар даражасида вақт бўйича зичлаштирилган ТОАнинг линия тракти

N манбадан электрик рақамли оқимлар N оптик узатгич ОУз га тушади. ОУз да электр сигналлар оптик сигналларга ўзгартирилади. Оптик сигналларни бирлаштиришдан олдин уларнинг $\Delta t; 2\Delta t; 3\Delta t; \dots (N-1)\Delta t$ га кечикиши рўй беради. Бундай кечикишдан кейин оптик силжитгич (ОС) чиқишида оптик импульслар кетма-кетлигига эга бўламиз. қабул қилишда бунга тескари жараён амалга оширилади.

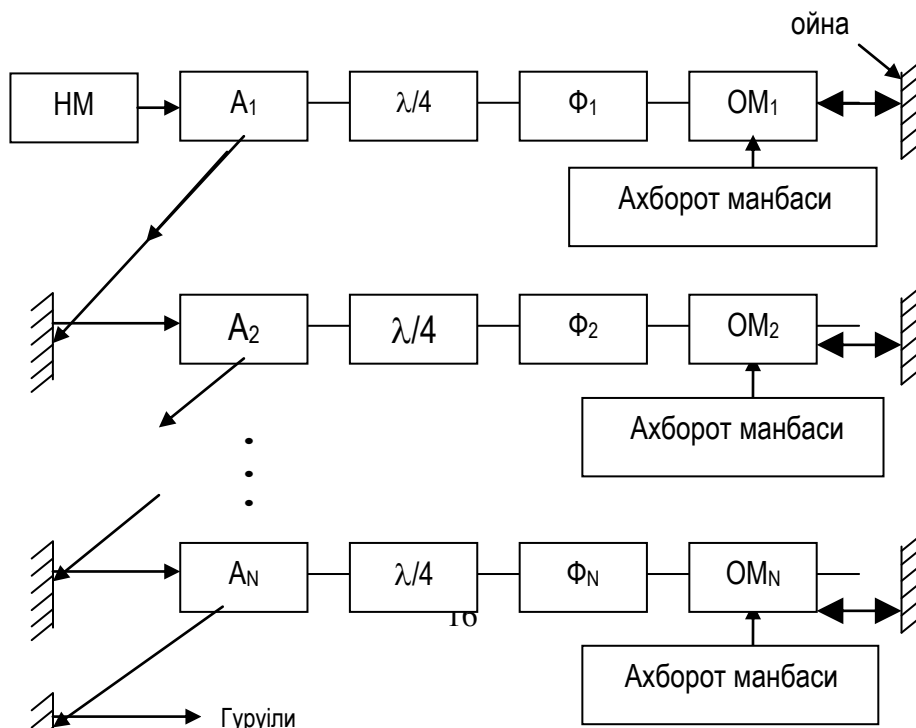
Вақт бўйича зичлаштиришда қисқа (10^{-9} с ва ундан кичик) ёруғлик импульсларини узатиш талаб этилади. Лекин субнаносекундли импульсларни узатиш ТОА узатиб қабул қилувчи аппаратураларининг оптоэлектрон қурилмаларининг охириги имкониятига яқин бўлган тезкорлигига жуда юқори талаблар қўяди. Бундан ташқари, оптик толанинг дисперсия хусусиятлари туфайли узатиш тезлиги, ўтказиш орали $^{1/2}$ и ҳам чегараланган.

Вақт бўйича зичлаштиришнинг асосий афзаллиги бу ОТ ўтказиш қобилиятидан фойдаланиш коэффициентининг ортиши ва тўлиқ оптик алоқа тармоқларини яратиш имкониятининг мавжудлиги ҳисобланади.

Частота бўйича зичлаштириш. Частота бўйича зичлаштириладиган ТОА линияларида турли ахборот манбаларининг бошлан¹/₂ич сигналларига аниқ частота оралиқлари ажратилади. Бу ҳолда гуруҳли линия сигналларини ҳосил қилиш учун яқин жойлашган стабил оптик ташувчилар талаб қилинади. Бироқ айниқса юқори тезликли модуляциялашда ярим ўтказгич лазерларнинг нурланиш линияларининг ностабилилиги қўшни каналларнинг ишчи тўлқин узунликлари орасида спектр бўйича оралиқларини информацион сигнал оралиқларидан бир неча марта ортиб кетишига олиб келади. Шунинг учун ТОАда спектрал яқин жойлашган каналларни ҳосил қилиш учун турли манбаларнинг турли ташувчиларидан эмас, балки оптик ташувчиларни суриш ёрдамида битта манбанинг турли ташувчиларидан фойдаланилади.

Гуруҳли сигналларнинг шаклланиш схемаси 1.8-расмда тасвирланган. [4]

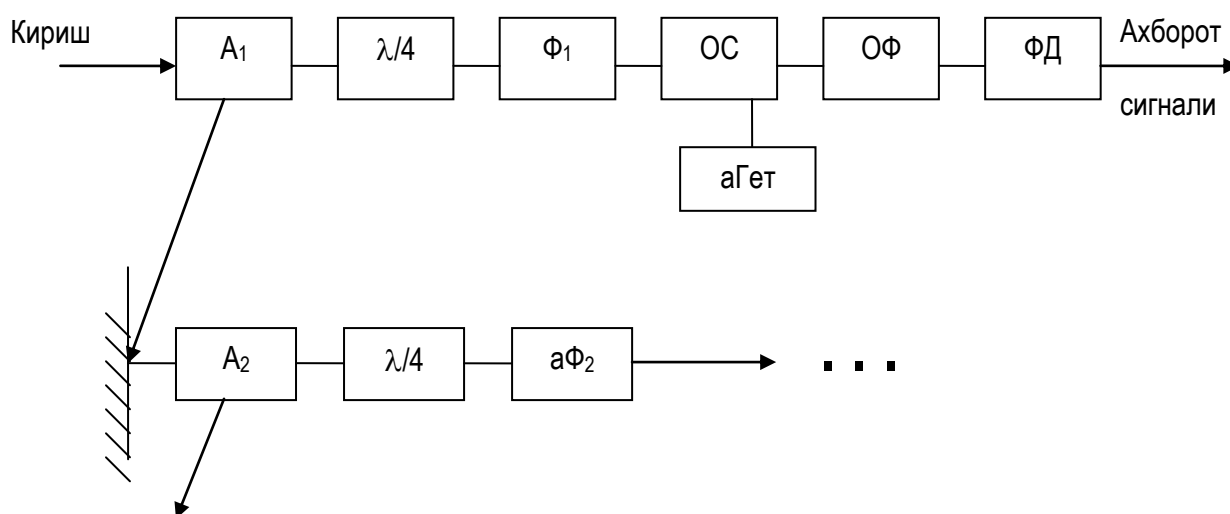
қатор $f_1, f_2, \dots, f_n$ ташувчилардан иборат оптик нурланишлар лазер нурланиш манбаи (НМ) чиқишидан анализатор A_1 га тушади. Сўнг чорак тўлқинли $\lambda/4$ призмадан ўтиб биринчи каналнинг Φ_1 филътрига узатилади. Бу филътр биринчи каналнинг f_1 оптик ташувчисини OM_1 оптик модуляторига ўтказади ва бу ерда у модуляцияланади. $f_2, f_3, \dots, f_n$ (f_1 , дан ташқари) частотали оптик нурланиш филътрдан акс этиб, у ҳам A_1 анализаторга қайтади. Йўли бўйлаб у иккинчи марта чорак тўлқинли $\lambda/4$ призмадан ўтиб, A_2 анализаторга тушади. OM_1 оптик модуляторда информацион сигнал билан модуляцияланган биринчи каналнинг оптик ташувчиси ойнадан акс этиб, A_1 анализаторга қайтади. Икки марталаб чорак тўлқинли $\lambda/4$ призмадан ўтган оптик сигналнинг қутбланиш юзаси бошлан¹/₂ич тебранишнинг қутбланиш юзасига нисбатан $\pi/2$ га бурилади. Натижада ёру¹/₂лик тўплами призмада бир томонга оқади ва ундан чиқади. Сўнг умумий сигнал A_2 анализаторга тушади ва жараён қайтарилади, фақатгина фарқи бунда f_2 частотали оптик нурланиш модуляцияланади. Шу тарзда оптик линия трактида узатиладиган оптик гуруҳли сигнал шаклланади.



1.8-расм. Частота бўйича (гетеродинли) зичлаштиришда гуруҳли оптик сигналларнинг шаклланиш схемаси

қатор модуляцияланган оптик ташувчилардан иборат қабул қилинадиган оптик гуруҳли сигнал, A_1 анализаторга келиб тушади, сўнг эса чорак тўлқинли $\lambda/4$ призма ва биринчи каналнинг Φ_1 фильтри орқали ўтгач оптик силжитгичга (ОС) берилади (1.9-расм). Φ_1 фильтри f_1 частотали оптик сигналларни ўтказди, бошқа частотали сигналлар акс этиб, A_2 га келиб тушади. f_1 частотали модуляцияланган оптик ташувчи ОС да кўпаяди, сўнг $f_{ор}$ оралик частота ОФ оралик фильтри ёрдамида ажратиб олинади ва ФД фотодетекторга берилади. ФД чиқишида электр ахборот сигнали шаклланади. Шу тариқа бошқа сигналларни қабул қилиш амалга оширилади. [4]

Частота бўйича зичлаштириш усулининг афзаллиги шундаки, сигналларни бундай қабул қилиш ҳисобига регенерациялаш участкаси узунлиги 200 км гача узаяди ва оптик толанинг ўтказиш қобилиятидан фойдаланиш коэффиценти ортади.



1.9-расм. Частота бўйича (гетеродинли) зичлаштиришда гуруҳли оптик сигналларни қабул қилиш схемаси

Бу усулнинг камчилиги шундаки, бунда кутбланиши сақланадиган оптик узатиш ва қабул қилиш трактлари, шунингдек бир қатор қўшимча қурилмалар, частота сургичлар, оптик вентиллар, кутбланиш назоратгичлари, оптик кучайтиргичлар ва бошқа қурилмалар талаб этилади. Бу ТООни мураккаблаштиради ва нархини оширади.

Спектр бўйича зичлаштириш. Оптик толанинг ўтказиш қобилиятидан фойдаланиш коэффициентини оширишнинг истиқболли йўналишларидан бири спектр бўйича (тўлқин бўйича) зичлаштиришдир. Спектр бўйича зичлаштириш усули 1.5-расмда тасвирланган эди. Бунда линия кабелидаги тола нархи камайиши ҳисобига сезиларли даражада иқтисодий самарадорликка эришилади. Бундан ташқари, бу усул қўшимча қурилиш ишларисиз тармоқ ривожланишини таъминлаш, шунингдек тармоқланган дарахтсимон ва ҳалқали тармоқларни яратиш имконини беради. Бунда ҳар хил тезликли ва рақамли, аналог турли модуляцияли (телефон, телевидение, телеметрия, ЭМ бошқариш сигналлари) сигналларни узатиш имконияти кенгаяди. Бу эса иқтисодни тежовчи кўп функцияли алоқа тизимларини ташкил этишни таъминлайди.

Оптик толанинг спектрал ўтказиш оралиғидан бирмунча тўлиқ фойдаланиш бу усулнинг энг муҳим афзалликларидан бири ҳисобланади. 2008-йил кунда 0,8...1,8 мкм диапазон оралиғи ўрганилган. Агарда спектрал каналнинг кенглиги 10 нм ни ташкил этса, у ҳолда белгиланган диапазонда 100 тагача спектрал каналларни жойлаштириш мумкин.

Спектр бўйича зичлаштирилган ТООда сўниш ва дисперсия кийматлари кичик бир модали оптик толалардан, қуввати юқори лазер нурланиш манбаларидан фойдаланиш мақсадга мувофиқдир. Фойдаланиладиган бир модали оптик тола 1,5...1,6 мкм тўлқин узунлигида ишлаши ва кварц шишасидан тайёрланган бўлиши керак.

2. ОПТИК ТОЛА ВА ТОЛАЛИ ОПТИК КАБЕЛЛАР

2.1. Оптик алоқа узатиш каналлари

Оптик узатиш каналлари оптик алоқа (ОА) тизимининг узатиш ва қабул қилиш қисмларини бо'л'лаб турувчи муҳитдир. Оптик узатиш каналларининг тавсифлари қисман алоқа тизимининг сифатини аниқлайди. Шунинг учун ОА тизимларини лойиҳалаштиришда нурланиш тарқаладиган узатувчи муҳит - каналнинг хусусиятларини ҳисобга олиш керак. Электромагнит тўлқинлар тарқаладиган каналлар очик оптик алоқа (ООА) каналларига ва толали оптик алоқа (ТОА) каналларига бўлинади.

ООА каналларида нурланиш манбалари электромагнит тўлқинларни очик фазога нурлантиради, бунда нурланишнинг тарқалиш йўналиши фақатгина антеннанинг йўналиш диаграммаси билан аниқланади. ООА каналлар,и сөз навбатида, уч турга бўлинади: атмосфера, космик ва сув ости алоқа каналлари.

Атмосфера ООА каналларида тўлқинларнинг тарқалиш тавсифлари етарли даражада об-ҳаво шароитларига бо'лиқ. Атмосфера ва сув ости узатиш муҳитларининг физик бир турда эмаслиги ва уларнинг таркибидаги бегона заррачаларни узатилаётган нурланиш тўлқини билан сазаро таъсирда бўлишидан электромагнит тўлқинлар бузилади. Заррача селчамларининг тўлқин узунлиги билан таққосланадиган даражада ёки катта бўлиши бузилишларни оширади. Шу сабабли атмосфера бузилишлари оптик диапазонда турли характерга эга. Шу тарзда узатиш муҳити-каналларни таҳлил қилиш, алоқа тизимларини лойиҳалаштиришда юзага келадиган энг муҳим масала ҳисобланади. Тўлқинларнинг тарқалиш йўналишига тушиб қоладиган заррачалар асосан оптик нурланишни ютади ва сочади. Бу омилларнинг таъсир даражаси канал турига (сув ости, тоза ҳаво, турбулент атмосфера ва бошқалар) бо'лиқ. Бу тизимларда бузилишларни камайтириш, талаб этиладиган ишончилиликни таъминлаш учун ретрансляция участкаси узунлигини камайтириш керак бўлади.

Космик ООА каналида узатиш муҳити бу атмосферадан холи бўлган очик фазодир. Космик каналда атмосфера каналларига ҳос бўлган бузилишлар ҳосил бўлмайди, улар барқарор бўлиб, алоқанинг юқори ишончилигини таъминлайди. Космик каналларда асосий йўқотишлар бу тарқалишда ҳосил бўладиган йўқотишлар ҳисобланади. Бу йўқотишлар сигнал L масофага тарқалганда нурланиш майдони қувватининг йўқотиш коэффициенти билан баҳоланади ва қуйидаги ифода орқали аниқланади:

$$Z_p = \frac{1}{4\pi L^2} \quad (2.1)$$

Космик алоқа тизимларини лойиҳалаштиришда асосий масала бу узатиш ва қабул қилиш антенналарининг селчамларини мос равишда тўлиқ танлаш орқали йўқотишларни бартараф этиш ҳисобланади.

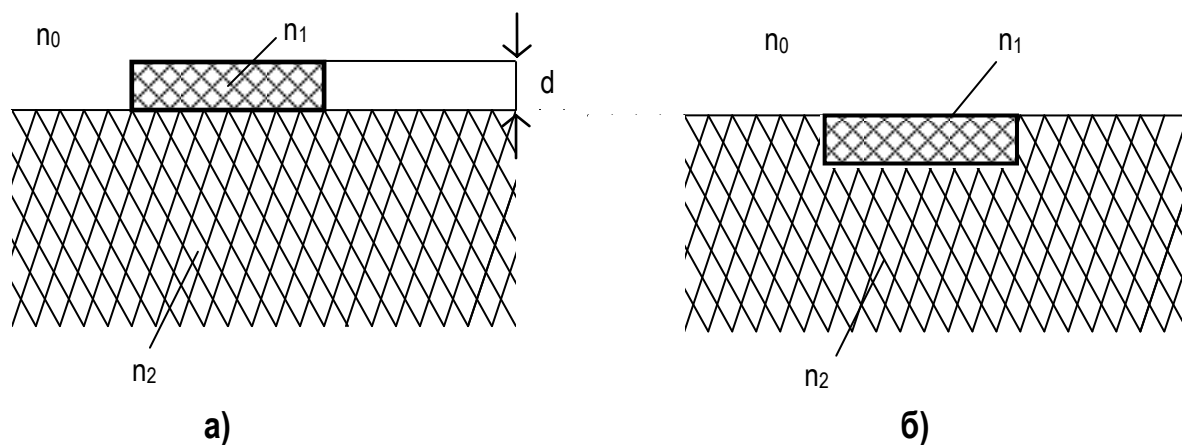
ТОА да электромагнит нурланишларнинг тарқалиш йўлини ташкил этиш учун махсус оптик нур сўтказувчилар қўлланилади.

2.2. Оптик нур сўтказувчилар ва уларнинг турлари

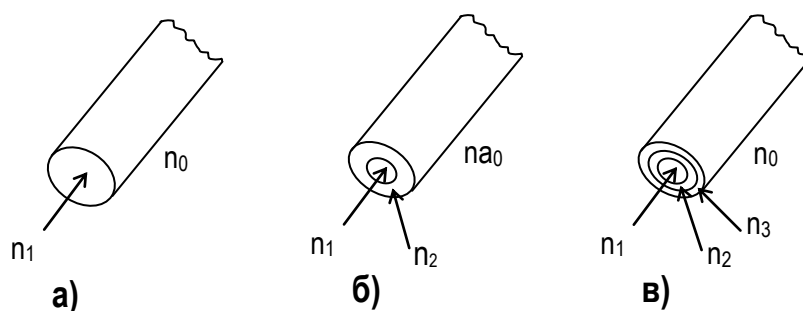
ТОАда оптик тебранишларнинг тарқалишини чегараловчи ва ёру'лиқ энергияси оқимини берилган йўналишда йўналтирувчи муҳит оптик узатувчи канал ёки оптик нур сўтказувчилар дейилади. Кичик сўниш коэффициенти эга бўлган оптик нур сўтказувчилар асосида оптик сигналларни узок масофаларга узатишни таъминловчи оптик кабеллар яратилмоқда.

Оптик нур сўтказувчилар икки турга бўлинади: ясси оптик нур сўтказувчилар ва нур сўтказувчи оптик толалар. Ясси оптик нур сўтказувчилар, сўз навбатида плёнкали (2.1,а-расм) ва каналлига (2.1,б-расм)

бөлинад. Нур сөтказувчи оптик толалар эса бир қатламли (2.2,а-расм), икки қатламли (2.2,б-расм), уч қатламли (2.2,в-расм) ва ҳ.к. бўлиши мумкин. [4]



2.1-расм. Ясси оптик нур сөтказувчилар



2.2-расм. Нур сөтказувчи оптик толалар

Оптик нур сөтказувчиларнинг синдириш кәрсаткичи:

$$n = \sqrt{\epsilon \mu}, \quad (2.2)$$

бу ерда $\epsilon \cdot \mu$ -мос равишда нисбий диэлектрик ва магнит сөтказувчанлик.

$n > n_0$ бөлганда (n_0 -атроф муқитнинг синдириш кәрсаткичи) нур чегарадан тәлиқ ички қайтади.

Ясси оптик нур сөтказувчиларда (2.1-расм) тәлиқ ички қайтиш бөлиши учун

$$n_1 > n_2 \geq n_0,$$

шарт бажарилиши керак.

Бу ерда n_1 -плёнканинг синдириш кѳрсаткичи;
 n_2 -тагликнинг синдириш кѳрсаткичи;
 n_0 -ташқи муҳитнинг синдириш кѳрсаткичи.

Плѳнка калинлигини танлаб, узатиладиган тѳелқинлар сонини чегаралаш мумкин. Битта асосий тѳелқинни узатиш учун плѳнка калинлиги 0,1 мкм бѳелиши керак. Бундай плѳнкани тайѳрлаш мурраккабдир. Синдириш кѳрсаткичларининг нисбий фарқини камайтириб, плѳнканинг калинлигини, яъни диаметрини оширишимиз мумкин. Кѳепгина оптик қурилмалар: актив(генератор, модулятор, демодулятор ва б.қ.) қурилмаларни қуришда оптик нур ѳтказувчиларнинг қирқимларидан фойдаланилади. Кѳепгина оптик қурилмалар ясси оптик нур ѳтказувчилар асосида тайѳрланади.

Нур ѳтказувчи оптик толалар ѳзак ва қобикдан иборат бѳелади. Улар қиймат бѳейича бир-бирига яқин турли синдириш кѳрсаткичларига эга. Ёзак узатувчи муҳит, қобик эса ѳзи ва ѳзак орасида чегара ҳосил қилувчи сифатида ишлатилади. Бу чегара ёру^{1/2}ликни йѳналтирувчи физик-канални шакллантириб, у орқали узатилган сигналнинг ташувчиси ёру^{1/2}лик нури тарқалади.

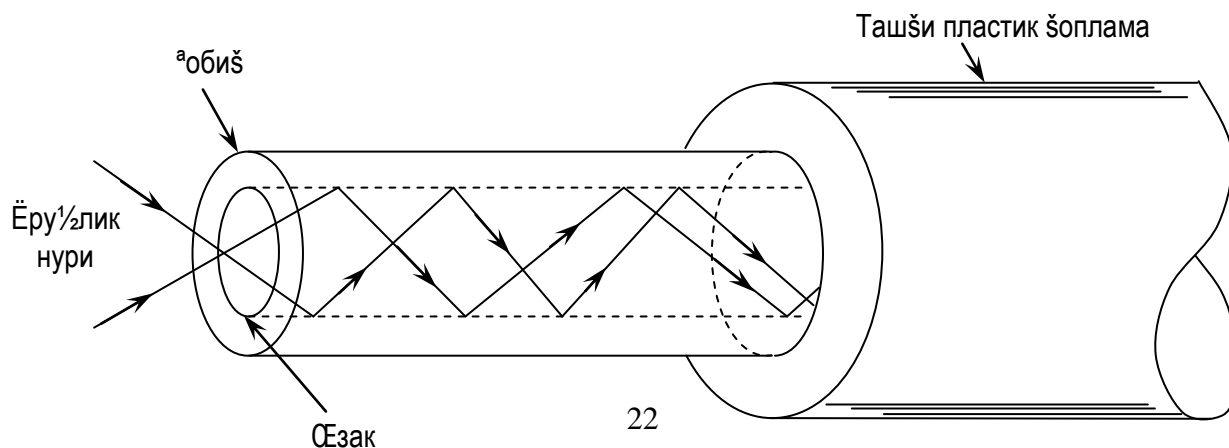
Ёру^{1/2}лик нурининг фақатгина ѳзак бѳейлаб тарқалишини таъминлаш учун (2.2-расм)

$$n_1 > n_2 > n_3 > n_0,$$

шарт бажарилиши керак. Мос равишда бу ерда

n_1 -ѳзакнинг синдириш кѳрсаткичи,
 n_2, n_3 -қобикларнинг синдириш кѳрсаткичлари,
 n_0 -ташқи муҳитнинг синдириш кўрсаткичи [4].

ОТнинг таркибий қисмлари 2.3-расмда тасвирланган. Ёзак ва қобик учун асосий материал кварц шишаси (SiO_2) ҳисобланади. Керакли синдириш кѳрсаткичларини олиш учун кварц шишасига бор, германий ва шунга ѳхшаш бошқа қѳешимчалар қѳешилади [6]. Толанинг қѳешимча қобиклари ҳимоя қоби^{1/2}и ҳисобланади. 2.3-расмда ташқи пластик қоплама кѳрсатилган. [6]



2.3-расм. Оптик толанинг тузилиши

2.3. Оптик тола бөйлаб ёру^{1/2}лик нурининг тарқалиши

Оптик толада ёру^{1/2}лик нурини узатиш геометрик оптика қонунларига асосланган. Бу қонунларга мувофиқ ёру^{1/2}лик нури оёзак бөйлаб зигзаксимон линиялар ҳосил қилиб тарқалади. Оёзакнинг синдириш кўрсаткичи n_1 қобикнинг синдириш кўрсаткичи n_2 дан катта бөелиши сабабли оптик нур фақат оёзак бөйлаб тарқалади. Бу нур синдириш кўрсаткичи катта муҳитдан синдириш кўрсаткичи кичик муҳитга оётганда икки муҳит чегарасида синган нурни узатилган нормал нурдан о^{1/2}иши билан тушунтирилади. Масалан: буни нур сувдан ҳавога оётганда ҳам кузатиш мумкин. Икки муҳит чегарасига тушиш бурчаги Θ_1 ошган сари синган нурнинг нормал нурдан о^{1/2}иши ҳам ошиб боради. Нормал нурга нисбатан синган нур бурчаги Θ_2 90⁰ га етгач, синган нур чегара юзаси бөйлаб тарқала бошлайди. 2.4-расмда турли тушиш бурчакларида нурни тарқалиши кўрсатилган. 2.4(а)-расмда тушиш бурчаги Θ_1 кичик бөелганда синган нур төелиқ қобикқа оётиб кетади. 2.4(б)-расмдагидек сигнал критик бурчак остида тушганда синган нур чегара бөйлаб тарқалади. 2.4(в)-расмда тушиш бурчаги критик тушиш бурчагидан ошганда төелиқ ички қайтиш юзага келиши тасвирланган.[6] «Оёзак-қобик» чегарасида сигнал энергияси төелиқ қайтадиган бу бурчак төелиқ ички қайтиш бурчаги $\Theta_{т.и.к.}$ дейилади.

Төелиқ ички қайтиш бурчаги қуйидагича аниқланади:

$$\Theta_{т.и.к.} = \arcsin \frac{n_2}{n_1}, \quad (2.3)$$

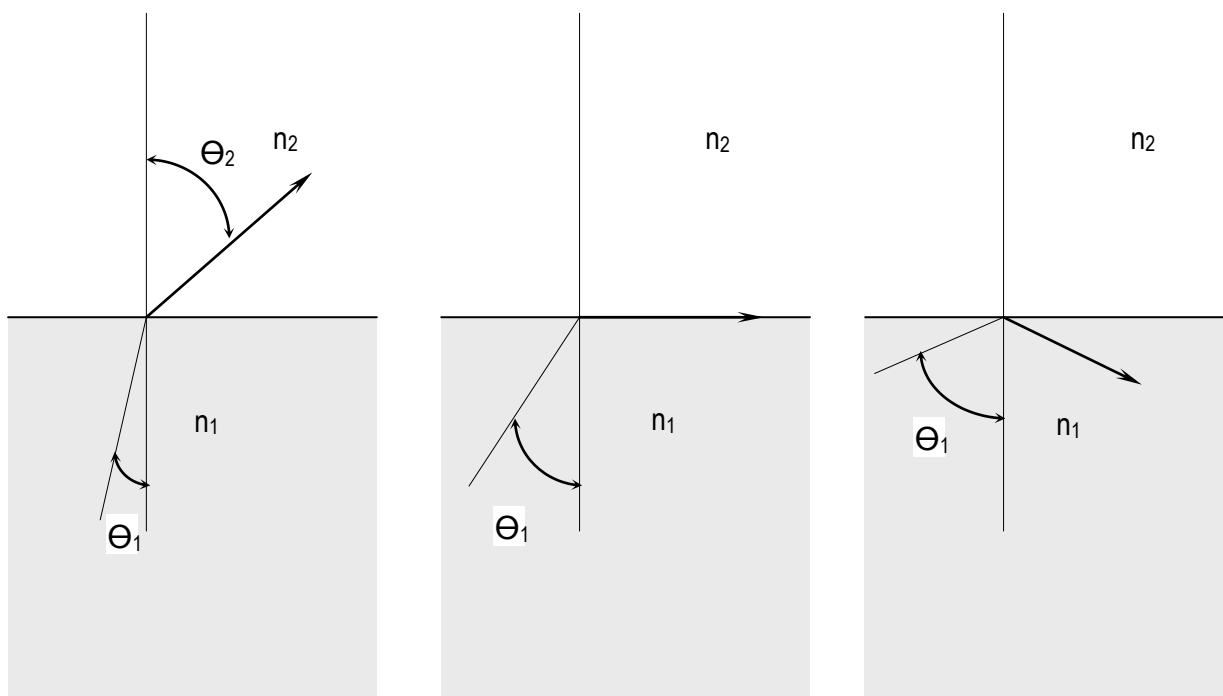
бу ерда n_1 -оёзакнинг синдириш кўрсаткичи;
 n_2 -қобикнинг синдириш кўрсаткичи.

Оёзак ва қобик тайёрланадиган материалларнинг синдириш кўрсаткичлари нисбатини оптимал танлаш орқали ёру^{1/2}лик нурининг оёзак ичида төелиқ ички қайтиши рёёй беради ва нурнинг фақатгина оптик тола оёзаги бөйлаб тарқалиши таъминланади.

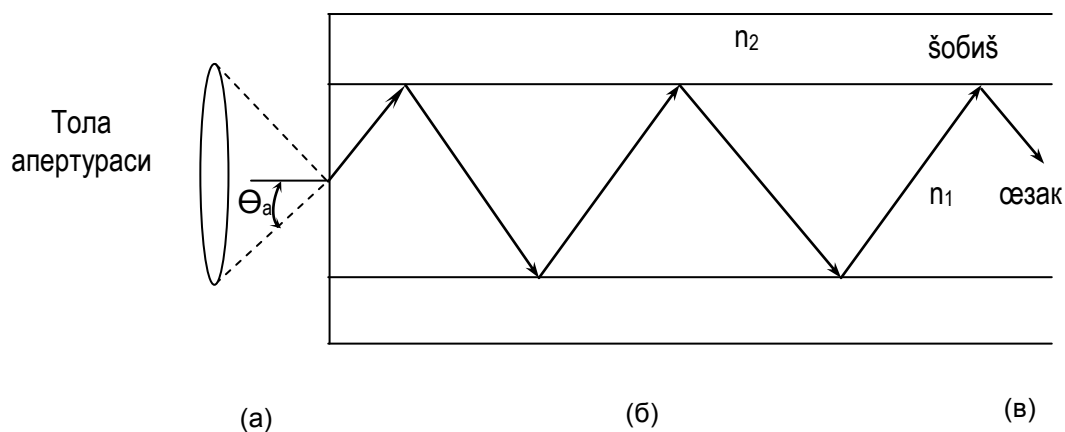
Узатиш учун нур маълум бир бурчак остида оптик толага киритилади. Ёру^{1/2}лик нурининг тола оёзагига максимал тушиш бурчаги бурчак апертураси Θ_a дейилади. Бурчак апертурасининг синуси сонли апертура дейилади ва NA ҳарфлари билан белгиланади (N-number-сон, A-aperture-тешик). Сонли апертура қуйидаги формула орқали аниқланади:

$$NA = \sin \Theta_a = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}. \quad (2.4)$$

Келтирилган формуладан кѳриниб турибдики, оптик толанинг сонли апертураси NA фақатгина ѳзак ва қобикнинг n_1 ва n_2 синдириш кѳрсаткичларига боʻлиқ. Бунда ҳар доим $n_1 > n_2$ шарт бажарилади (2.5-расм) [7].



2.4-расм. Бир неча тушиш бурчаклари учун нурнинг тарқалиш йсели, $n_1 > n_2$, бу ерда n_1 ва n_2 икки турли муҳитларнинг синдириш кѳрсаткичлари



2.5-расм. Оптик толада ёру^{1/2}лик нурининг тарқалиши. Оптик толанинг сонли апертураси

Оптик толада нурнинг тарқалиш тезлиги сёзакнинг синдириш кёрсаткичларига бо^{1/2}лик бёлиб, қуйидаги формуладан аниқланади:

$$C_m = \frac{c}{n_1}, \quad (2.5)$$

бу ерда C -вакуумда нурнинг тарқалиш тезлиги;
 n_1 -сёзакнинг синдириш кёрсаткичи.

Сёзак материалининг синдириш кёрсаткичи 1,45-1,55 оралиқда ётади [7].

Маълумки, тёлқин узунлиги учун характерли бёлган оптик толанинг яна бир хусусияти бу нормаллаштирилган частота ν бёлиб, у қуйидагича аниқланади [6]:

$$\nu = \frac{2\pi\alpha}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (2.6)$$

Бу ерда α -сёзак радиуси, n_2 -қобиксиз оптик тола учун 1 га тенг [6].

Нурнинг толада тарқалиш жараёнини таърифлаш учун бир неча асосий параметрлар қелланилади. Бу муҳим параметрларга сёениш ва дисперсия киради.

Сёениш ва дисперсия оралиқ пунктларсиз оптик алоқа линияси узунлигини ёки оралиқ пунктлар орасидаги масофани қисқартириши мумкин.

Дисперсия асосан икки омил туфайли юзага келади. Улардан бири материал дисперсияси, бошқаси-мода дисперсияси.

Оптик тола орқали тарқала оладиган, рухсат этилган ёру^{1/2}лик тёлқинлари модалар (ёки шахсий тёлқинлар) дейилади [7].

Материал дисперсияси материал синдириш кёрсаткичининг частотага бо^{1/2}лик ҳолда сёзгариши билан ҳосил бёлади. Мода дисперсияси тола орқали бир неча модаларни узатишдан ҳосил бёлади. Тола орқали турли модалар турли фаза ва гуруҳли тезликда узатилади, қабул қилувчи пунктларга ҳам турли вақтларда етиб келади. Натижада толада турли модаларнинг хар хил кечикиш билан тарқалишидан бузилишлар (дисперсия) юзага келади.

Модалар сонини нур сётказувчи оптик толанинг тузилиши ва селчамини сёзгартирган ҳолда камайитириш мумкин. 2.6-формуладан келиб чиқадиган бёлсак, n_2/n_1 нисбатни амалий мумкин бёлган ҳолда сақлаб, сёзак радиусини камайитириш йёели орқали модалар сонини чегаралаш мумкин.

Частота (ν)га бо^{1/2}лик ҳолда модалар сони:

$$N = \frac{\nu^2}{2} . \quad (2.7)$$

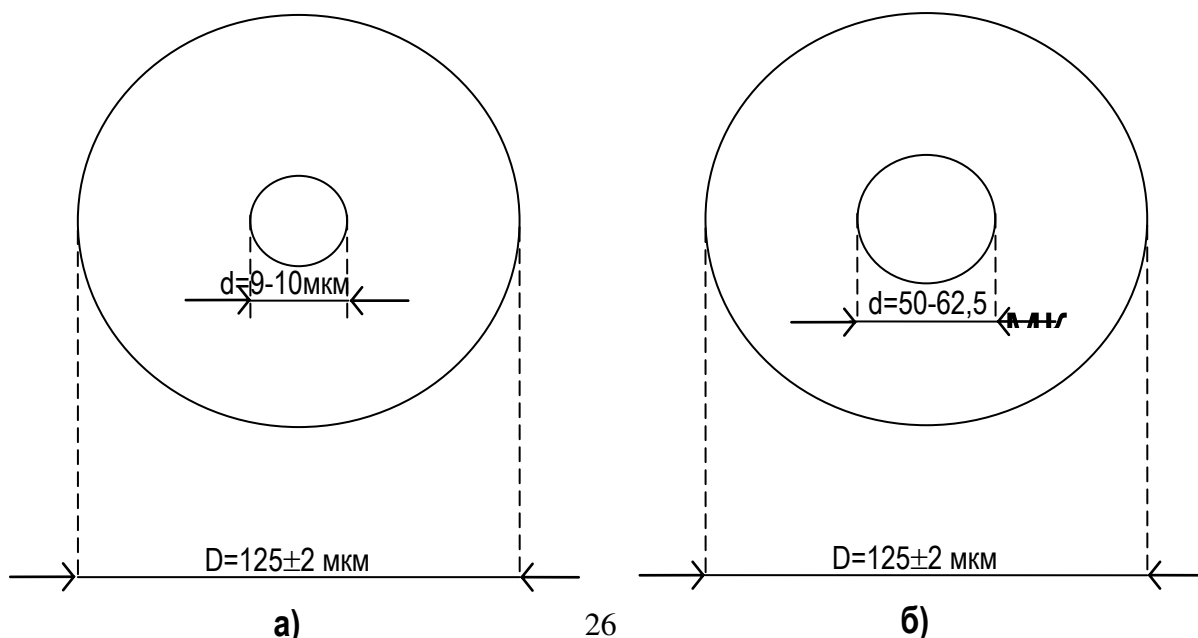
Агар $\nu=2,405$ бўлса, у ҳолда битта мода узатилади. Агар $\nu>2,405$ бўлса, унда биттадан ортиқ мода узатилиши мумкин [6]. Узатиладиган модалар сонига қараб оптик тола бир модали ва кўп модалига бўлинади.

2.4. Оптик тола турлари ва уларнинг тавсифлари

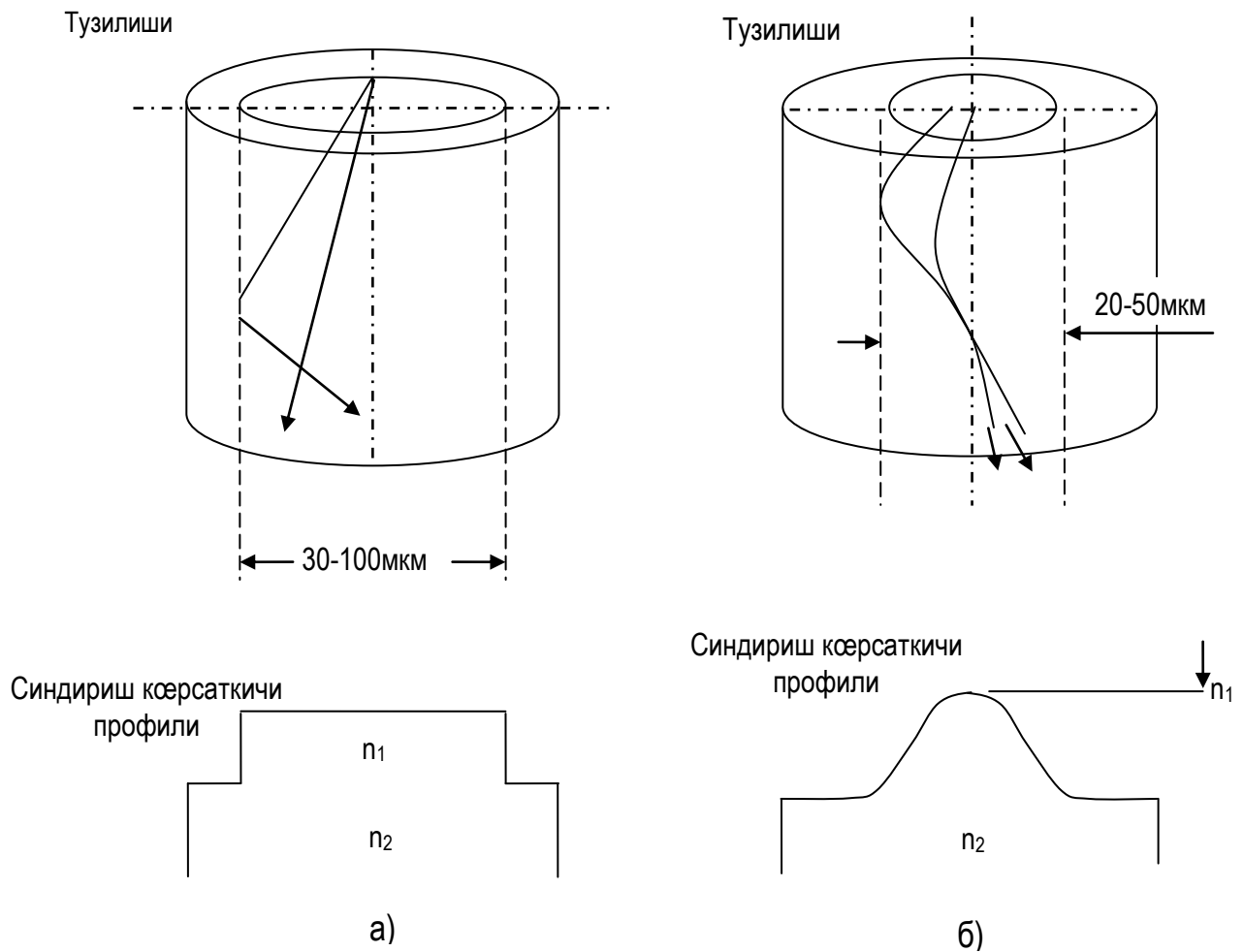
Тоёқин узунлигига нисбатан оёзак диаметрига бо $\frac{1}{2}$ лик равишда оптик толалар бир модали ва кўп модалига бўлинади. Бир модали толаларда кўпинча оёзак диаметри 9-10 мкм (2.6,а-расм), кўп модали толаларда эса 50-62,5 мкм (2.6,б-расм) бўлади[6]. Иккала турда қобик диаметри 125 мкм ни ташкил этади. Амалиёт кўп модалида ва бир модали тола диаметрларининг боёққа қийматлари ҳам мавжуд. Бир модали толадан фақат бир мода (ёру $\frac{1}{2}$ лик ташувчи) узатилади. Кўп модали толадан эса сонли апертура доирасида толага турли бурчаклар остида киритиладиган бир неча юзлаб рухсат этилган модаларни бир вақтда узатиш мумкин. Барча рухсат этилган модалар турли тарқалиш ёёли ва вақтига эга.

Кўп модали толалар синдириш кўрсаткичи n бўйича по $\frac{1}{2}$ онали (2.7,а-расм) ва градиент (2.7,б-расм) толаларга бўлинади[6].

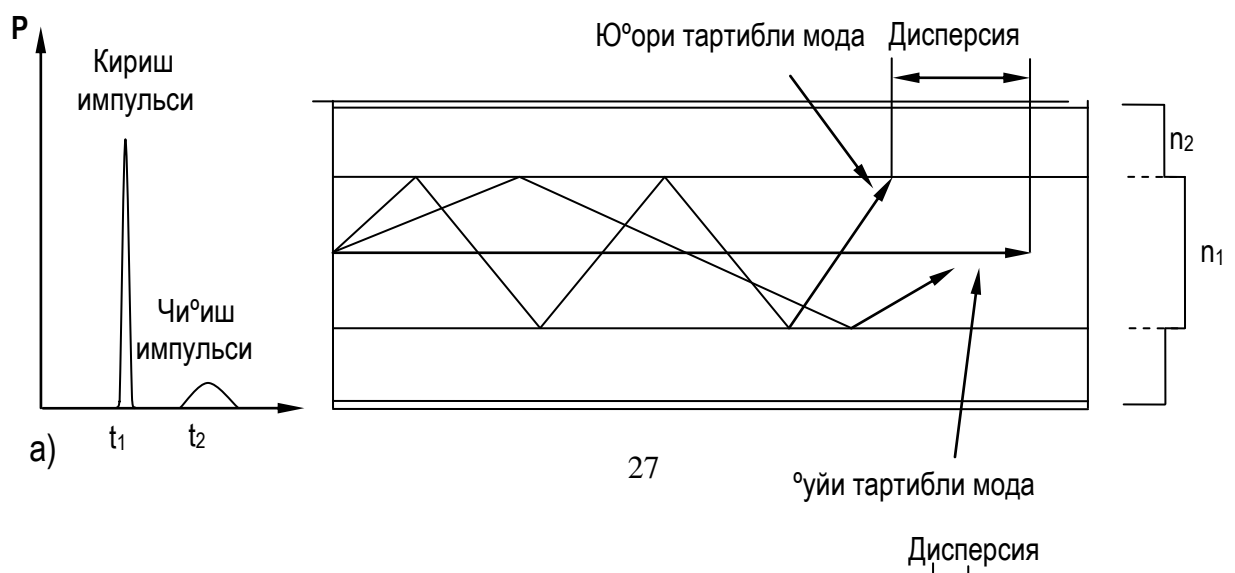
По $\frac{1}{2}$ онали синдириш кўрсаткичли кўп модали толалар икки муҳит чегарасида синдириш кўрсаткичларининг кескин (по $\frac{1}{2}$ она кўринишида) оёзгариши (n_1 дан n_2 га) билан характерланади. По $\frac{1}{2}$ онали синдириш кўрсаткичли толалар оёзказиш полосасини чегаралайди, лекин градиент синдириш кўрсаткичли толаларга нисбатан арзон ҳисобланади.



2.6-рaсм. Бир модали (а) ва кoп модали (б) толaларнинг кoндаланг кесими



2.7-рaсм. По $\frac{1}{2}$ онали (а) ва гpaдиент (б) кoп модали толaларнинг тузилиши ва синдириш кoрсаткичи профиллари



2.8-расм. Турли толалардан ёру^{1/2}лик нурининг тарқалиши ва уларнинг синдириш кўрсаткичлари профиллари

- а) кўп модали, по^{1/2}онали синдириш кўрсаткичли тола;
- б) кўп модали, градиент синдириш кўрсаткичли тола;
- в) бир модали, по^{1/2}онали синдириш кўрсаткичли тола

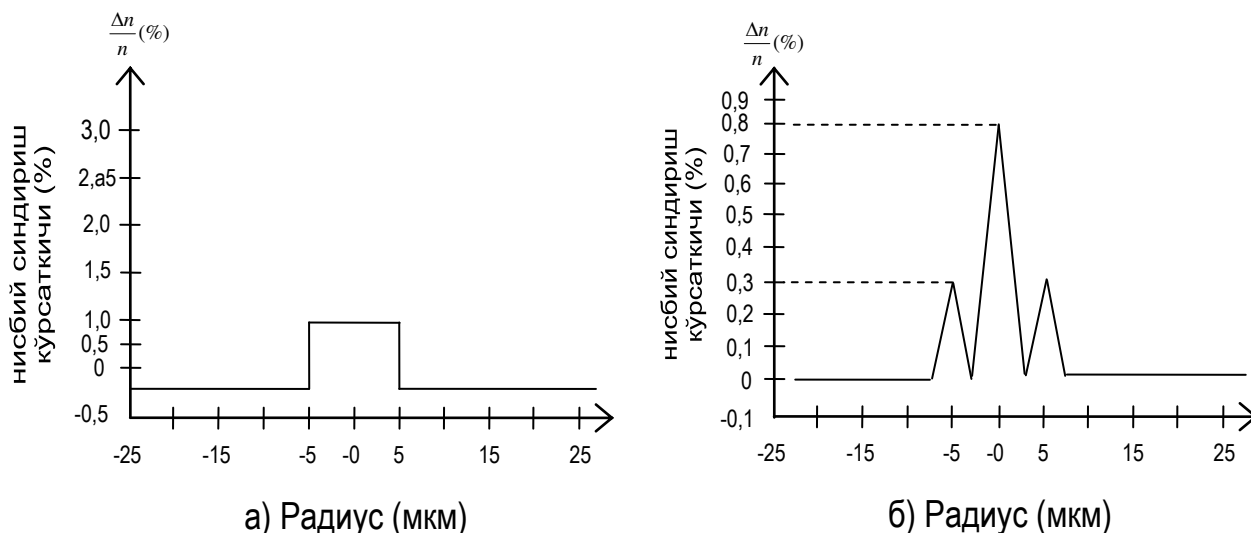
Градиент синдириш кўрсаткичли кўп модали толалар по^{1/2}онали синдириш кўрсаткичли толаларга қараганда равон синдириш кўрсаткичига ва модалараро дисперсиянинг камайиши бўйича юқори техник кўрсаткичларга эга. Чунки градиент синдириш кўрсаткичли толада модаларнинг тарқалиш тезлиги (дисперсияси) бир-биридан жуда ҳам каттага фарқ қилмайди. Дисперсия импульсларнинг кенгайиб кетишига, узатилаётган сигналларнинг бузилишига олиб келади. Шунинг учун ҳозирда градиент синдириш кўрсаткичли кўп модали толалар кенг тарқалган. Градиент

синдириш кѳрсаткичли кѳеп модали толаларнинг энг асосий камчилиги уларнинг қимматлиги ва ишлаб чиқариш мураккаблигидир. Кѳеп модали толаларда мода дисперсияси ѳетказиш полосаси ва алоқа масофасини чегаралайди. Шунинг учун кѳеп модали толалар асосан локал тармоқларда ва плезиохрон рақамли иерархия сигналларини узатишда ишлатилади.

Бир модали толалардан магистрал алоқа тармоқларида фойдаланилади. Чунки бир модали толаларда сигналлар кѳеп модали режимга қараганда кам бузилиш билан узатилади. Турли толалар бѳейлаб оптик сигналларнинг тарқалиши 2.8-расмда тасвирланган.[8]

Бир модали толаларда модалараро дисперсиянинг юзага келмаслиги сабабли улар юқори ѳетказиш қобилиятига эга. Бироқ узатувчи қисмда бирмунча қиммат бѳелган лазер диодлардан фойдаланиш талаб этилади.

Синдириш кѳрсаткичларига қараб бир модали толалар по^{1/2}онали (тѳе^{1/2}рибурчакли) ва махсус турдаги уч тишли, W кѳеринишдаги толаларга бѳелинади (2.9-расм).



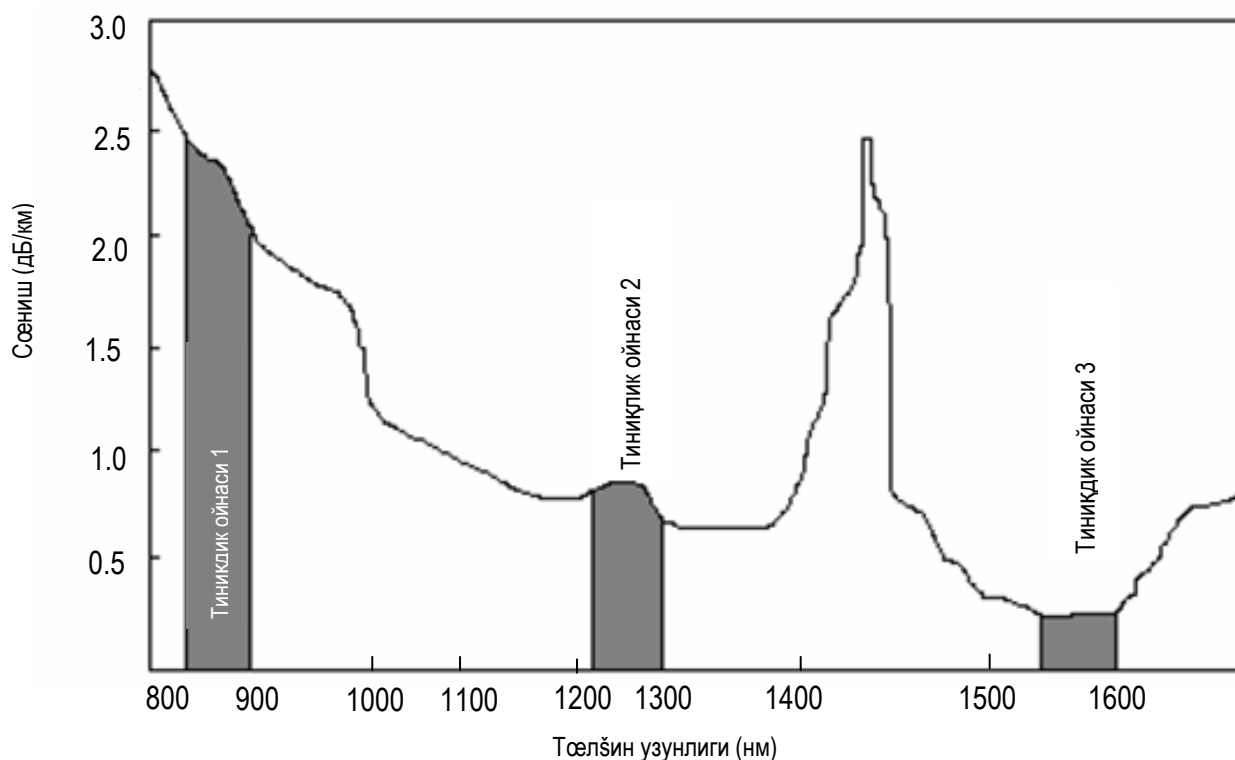
2.9-расм. Бир модали оптик толанинг синдириш кѳрсаткичлари

- по^{1/2}онали синдириш кѳрсаткичли бир модали стандарт SF тола,
- махсус уч тишли, W кѳеринишга эга синдириш кѳрсаткичли, дисперсияси нолга силжиган бир модали тола

Синдириш кѳрсаткичлари сѳенишга бѳ^{1/2}лиқ эмас, аммо хроматик дисперсия кѳрсаткичларига таъсир қилади. Бир модали толалар дисперсия қийматлари бѳейича ушбу турларга бѳелинади:

- Стандарт тола SF (standart fiber).
- Нолинчи дисперсияси силжиган бир модали тола DSF (dispersionshifted single mode fider).
- Нолга тенг бўлмаган силжиган дисперсияли бир модали тола NZDSF (nonzero dispersion-shifted single mode fider)[8].

Стандарт SF толалари по $\frac{1}{2}$ онали синдириш кўрсаткичига эга. Статистик маълумотларга кўра, энг кўп ётказилган кабеллар бир модали стандарт SF (Standart Fiber) толалардан иборат. 2020-йилда SF толаларининг сўниш қийматлари 0,18-0,19 дБ/км гача камайтирилган. Лекин бу толаларда 1550 нм тўлқин узунлигида дисперсия қиймати катта 17-20 пс/нм*км ни ташкил этади. 1300 нм тўлқин узунлигида эса дисперсия қиймати минимал, лекин сўниш қийматлари катта 0,35-0,5 дБ/км ни ташкил этади (2.10-расм). Дисперсия қиймати кичик бўлгани учун 1300 нм тўлқин узунлиги дисперсияси нолга тенг λ_0 тўлқин узунлиги деб аталади. Сўниш қийматлари кичик, яъни 0,2-0,25 дБ/км ни ташкил этадиган 1500 нм да (2.10-расм).[6] Дисперсия қийматларини ҳам камайтириш мақсадида λ_0 тўлқин узунлигини 1550 нм га силжитиш орқали нолинчи дисперсияси силжиган DSF толалари ишлаб чиқилган)[6]. DSF толаларида $\lambda_0=1550$ нм тўлқин узунлиги нолинчи дисперсия нуқтаси деб олинган.



2.10-расм. Тўлқин узунлигига боғлиқ равишда оптик тола сўнишининг сўзгариши

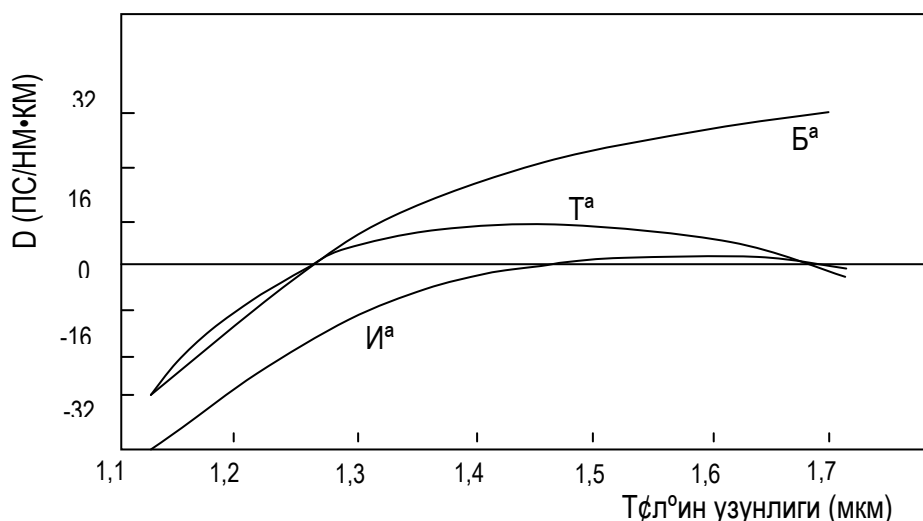
DSF ва NZDSF толалари махсус турдаги W кўринишдаги синдириш кўрсаткичларига эга. Аммо 1550 нм тўлқин узунлигида DSF толаларида спектр (тўлқин) бўйича зичлаштириш усулини амалга ошириб бўлмайди. Чунки агарда 1550 нм тўлқин узунлигида спектр бўйича зичлаштириш усулини қўлласак, бу тўлқин узунлиги атрофида паразит оптик каналлар, яъни ночизиқли эффектлар ҳосил бўлади. Буни бартараф этиш ва спектр

бөйича зичлаштириш усулини қеллаш учун нолинчи λ_0 тёлқин узунлигини 1520 нм дан 1560 нм гача суриб, нолга тенг бўлмаган дисперсияси силжиган NZDSF толалари ҳосил қилинган. Нолинчи дисперсияли тёлқин узунлигини суриш махсус турдаги W кёринишдаги синдириш кёрсаткичларини, синдириш кёрсаткичлари турлича бөлган көп қатламли қобикқа эга оптик толаларни қеллаш орқали ҳосил қилинади. Икки қатламли қобикларни қеллаб DSF толалари, тёрт қатламли қобикларни қеллаб, 1300 нм дан 1650 нм тёлқин узунлигида дисперсия қиймати $|D|=1-6$ пс/нм·км бөлган NZDSF толалари ҳосил қилинади. Дисперсиянинг тёлқин узунлигига ва қобиклар сонига боғлиқлиги 2.11-расмда тасвирланган.[8]

ҳозирги кунда “Corning”, “Lucent Technologies”, “Alkatel”, фирмаларининг стандарт бир модали толалари кенг тарқалган.

NZDSF толаларида эса $\lambda=1550$ нм да дисперсия нолдан фарқли, ишораси бир хил ва 2-4 пс/нм·км дан кичик бөлмаслиги керак[7] .

ҳозирги кунда “Corning” фирмаси SMF-LS, LEAF, “Lucent Technologies” True Wave деб белгиланган NZDSF толаларини ишлаб чиқармоқда. Дисперсия қиймати кичик бөлганлиги учун бу толалар спектр (тёлқин) бөйича зичлаштирилган узатиш тизимларида қелланилади.



2.11-расм. Дисперсиянинг тёлқин узунлигига ва қобиклар сонига боғлиқлиги: Бқ- бир қобик; Иқ-икки қобик; Тқ-тўрт қобик

Бир ташувчили DSF - силжиган дисперсияси нолга тенг бөлган толалардан SDH (асосан STM-16 ва ундан юқори) тизимларда фойдаланилади. “Фужикура” фирмасининг DSM 8/125, “Корнинг” фирмасининг SMF-DS турдаги толалари ишлаб чиқарилган.

Бир модали стандарт SF толалари қелланилганда, дисперсия қийматини камайтириш керак. Дисперсияни камайтириш, регенерациялаш секцияси узунлигини ошириш, 2,5 Гбит/с тезликдан юқори 10 Гбит/с тезликка өетиш, шунингдек спектр бөйича зичлаштириш усулларида фойдаланилганда дисперсияни компенсация қилувчи- DCF (Dispersion Compensating Fiber)

толаларни ёки дисперсияни компенсация қилувчи модуллари DCM (Dispersion Compensating Module) қўллаш керак. Дисперсияни компенсация қилиш усуллари 2.5.3-бўлимда батафсил ёритилган.

2.5. Оптик толани асосий параметрлари

2.5.1. Сўниш

Оптик сигнал тола орқали узатилганда, ёру^{1/2}лик тўлқинларини тола муҳити билан чизикли ва ночизикли сўзаро таъсири натижасида сигнал қувватини йўқолишидан оптик сигнал сўнади. Сўниш толали оптик алоқа узатиш тизимларининг регенерациялаш участкаси узунлигини аниқловчи оптик толанинг энг муҳим параметри ҳисобланади. Сўниш бу толада ёру^{1/2}лик оқимларининг кучсизланишидир. Тола узунлиги бўйича сўнишнинг сўзгариш қонуни қуйидаги умумий кўринишга эга:

$$P=P_0 \exp(-\alpha \cdot L), \quad (2.8)$$

бу ерда P_0 – толага киритиладиган қувват;

L – тола узунлиги;

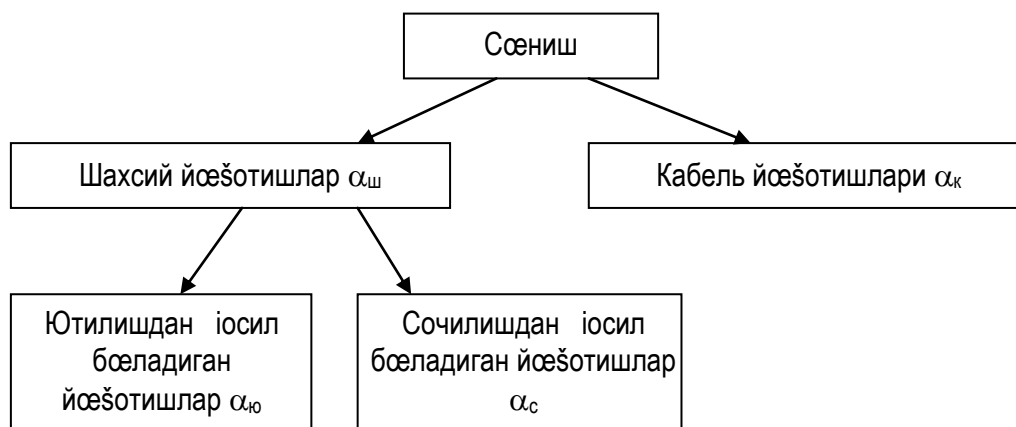
α - сўниш коэффиценти ёки толадаги йўқотишлар.

Бу формулани қўллаб солиштирма йўқотишларни баҳолашимиз мумкин:

$$\alpha_{\text{солиштирма}} = - (10/L) \cdot \lg(P/P_0) = 4,343 \alpha . \quad (2.9)$$

Умумий ҳолда сўниш сигналларнинг сочилиши ва ютилишидан ҳосил бўлувчи йўқотишлар ва кабел йўқотишларидан юзага келади.

Ютилиш ва сочилишдан ҳосил бўладиган йўқотишлар шахсий йўқотишлар, кабель йўқотишлари эса қўшимча йўқотишлар дейилади.



2.12-расм. Толадаги йеқотишларнинг асосий турлари

Тола йеқотишларини уларнинг телик йи^{1/2}индиси кериинишида ёзишимиз мумкин:

$$\alpha = \alpha_{\text{ш}} + \alpha_{\text{к}} = \alpha_{\text{ю}} + \alpha_{\text{с}} + \alpha_{\text{к}}, \text{ дБ/км.} \quad (2.10)$$

2.5.1.1. Толанинг шахсий йеқотишлари

Шахсий йеқотишларга ютилиш ва сочилишдан ҳосил бўладиган йеқотишлар киради. Ютилишдан ҳосил бўладиган йеқотишлар ички ва ташқи бўлади. Ички ютилиш йеқотишларини тоза кремний материали ҳосил қилиши мумкин. Хар бир материал молекуляр тузилишига кёра маълум телик узунликларида сигналларни ютиши мумкин. Масалан, SiO₂ нинг ультра бинафша диапазонда $\lambda < 0,4$ мкм телик узунлигида электрон резонанслари мавжуд. Шунингдек, инфрақизил диапазонда $\lambda > 7$ мкм телик узунлигида тебранувчи резонанслари мавжуд. Демак бу резонанслар керинадиган частота диапазонида ютиш полосаси кериинишида бўлади. Иккинчи ва учинчи ойналарда ютилишнинг бу тури 0,03 дБ/км дан кеп бўлмаган йеқотишларга олиб келади.

Ташқи ютилиш йеқотишлари ёру^{1/2}ликнинг тола кешимчаларида ютилишидан ҳосил бўлади. Замонавий ишлаб чиқариш технологиялари бу йеқотишлар таъсирини жуда кичик даражага камайтирган. Бу йеқотишлар темир, мис, никель, магний, хром кешимчаларини толага кешиш натижасида ҳосил бўлади. Замонавий ишлаб чиқариш жараёнида бу металлларнинг таркиби бир миллиард қисмгача камайтирилган. Шунинг учун улар умумий ташқи ютиш йеқотишларининг жуда кичик қисмини ташкил этади. Булардан фарқли равишда гидроксил ион (ОН) лар қолди^{1/2}ининг мавжудлиги, яъни ишлаб чиқариш жараёнида толада сув қолдиқларининг қолиши ташқи ютиш йеқотишларини сезиларли даражада оширади. Оптик тола таркибида ОН ионлари бирнинг юз миллиондан кам қисмини ташкил этиши керак.

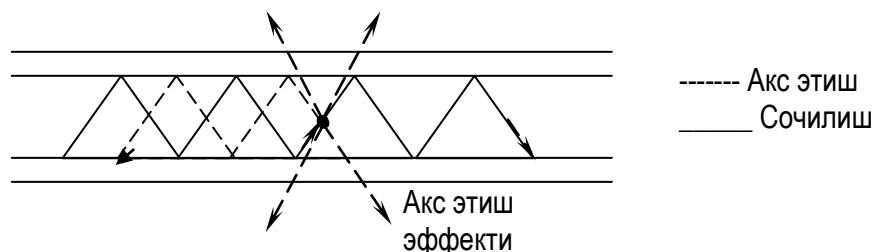
Замонавий оптик толаларда микрокешимчалар микдори жуда кичиклиги учун ташқи ютилиш шовқинлари минимал бўлиб, уларни ҳисобга олмаса ҳам бўлади. Лекин ОН концентрацияси бирдан миллион қисмни ташкил этганда, 1390 нм телик узунлигида йеқотишлар 50 дБ бўлиши мумкин.

Нурнинг сочилишидан ҳосил бўладиган йеқотишлар ички йеқотишлар ҳисобланиб, оптик тола сизагининг дефектлари: ҳаво пуфакчалари, ёриқлар, толанинг бир турда эмаслиги, яъни кешимчалар

қошилишидан шиша зичлигининг тасодифий ғазариши туфайли юзага келади. Бу омиллар ёру¹/₂лик оқими йоналишини ғазартириб, о¹/₂ишига олиб келади, натижада синиш бурчаги ошиб, ёру¹/₂лик нури қобикдан ташқарига сочилиб кетади.

Бундан ташқари, оптик толанинг бир турда эмаслиги, яъни қошимчалар мавжудлиги ёруғлик оқими маълум қисмининг тескари томонга акс этишига - тескари сочилишга олиб келади (2.13 - расм)[7].

1550 нм тёлқин узунлигида Релеевск сочилишлари умумий йоқотишларнинг асосийси ҳисобланади. Релеевск сочилиши тёлқин узунлигига тескари пропорционал бўлиб, тёлқин узунлиги ошиши билан йоқотишлар камаяди.



2.13 – расм. Оптик толада ёру¹/₄ликнинг сочилиши ва акс этиши

2.5.1.2. Кабель йоқотишлари

Кабел йоқотишлари микробукилишлар ва макробукилишлар ҳисобига ҳосил бўлади.

Микробукилишлар

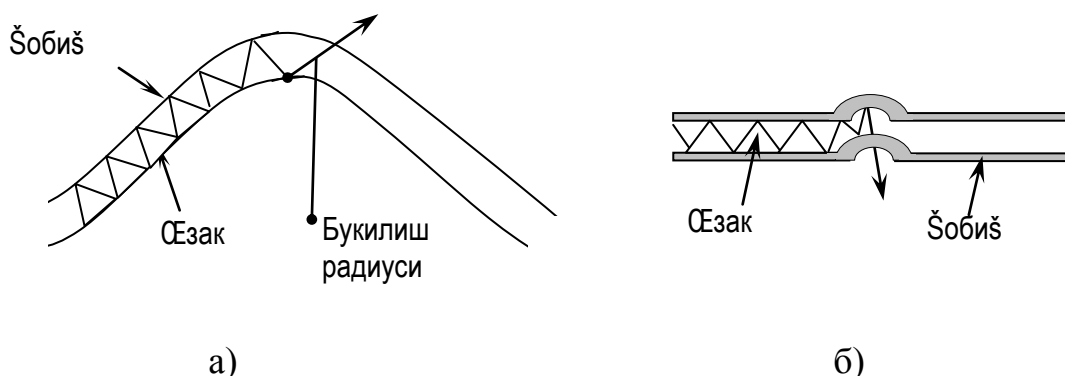
Микробукилиш - бу ишлаб чиқариш жараёнида тола ғзаги геометриясининг микроскопик ғзариши, яъни толанинг мукамал эмаслигидир. Микробукилишлар ишлаб чиқариш жараёнида толанинг етарли текис бўлмаган ташқи ҳимоя қопламалари билан қопланиши натижасида ғзакнинг ғқ марказида жойлашмаслиги, ғққа нисбатан қийшиқ жойлашишидан юзага келади. Микробукилишлар кабель йоқотишларини оширади. Бу йоқотишлар жуда катта бўлиши ва баъзи ҳолларда 100 дБ/км дан ҳам ошиши мумкин. Микробукилишлар 2.14,б–расмда кўрсатилган.

Макробукилишлар

Минимал рухсат этилган радиусдан ошган катта букилишларга макробукилишлар дейилади. Бир модали толаларнинг букиш рухсат этилган минимал радиуси 10 см ни ташкил этади. Бундай букилишда ёруғлик импульслари кучсиз бузилиш билан тарқалади. Букилиш радиусининг

камайтириш, толани рухсат этилгандан ортиқ букиш оптик импульсларни тола қобиғи орқали сочилиш эффектини оширади.

Ишлаб чиқарувчилар томонидан кабелни минимал букиш радиуси кўрсатилган бўлиши керак. Кабел (катушка) ғалтакка сўралганда, албатта, ғалтак радиуси бўйича букилади. Кабель биноларда ётказилганда, уни бино бурчакларида букиш керак бўлади. Кабелни ётқизувчи букиш радиусини минимал рухсат этилган қийматдан камайтирмаслиги, ортиқча букмаслиги керак. Толали оптик кабелни рухсат этилган чегарадан кучли букиб, кабелни яроқсиз қилиши, ҳаттоки кабелда толаларнинг узилишига олиб келиши мумкин. Макробукилишлар 2.14,а-расмда кўрсатилган. [6]



2.14 –расм. Оптик толанинг макробукилишлари (а) ва микробукилишлари (б)

Ишлаб чиқарилган оптик толанинг мукаммал эмаслиги, тола геометриясининг ўзгаришлари толаларни осон, тез ва сифатли пайвандланмаслигига олиб келади. Пайвандлашда, толаларни улашда йўқотишларга олиб олиб келадиган сабаблар қуйидагилар:

- тола сўзаги селчамларининг мослашмаганлиги;
- толани синдириш кўрсаткичларининг фарқланиши;
- толаларни улашда узунасига сўқларнинг чатишмаслиги;
- толалар бурчак апертураларининг фарқланиши;
- толаларни зич уламасликдан ҳаво пуфакчаларининг ҳосил бўлиши.

Бу омилларнинг барчаси сўенишни, йўқотишларни оширади. Сўениш ва йўқотишларни камайтириш учун ишлаб чиқариш жараёнида тола геометриясининг юқори аниқ бўлишига катта эътибор бериш керак. Бунинг учун ишлаб чиқаришда сўзакнинг қобиқ шишасида марказлашган ҳолда жойлашишига, ишлаб чиқарилган толаларнинг диаметрлари бир хил бўлишига, толанинг шахсий букилишларига катта талаблар қўйилади.

Оптик толанинг тўелиқ сўениш коэффициентини аниқлаш учун юқорида айтиб сўтилган барча омиллар ҳисобга олиниши керак (2.15 - расм) [7].



2.15 – расм. Оптик сигнални узатиш сифатига таъсир ёилувчи омиллар

Оптик нурланишни берилган тёлкин узунлиги учун сёениш коэффициенти толага киритиладиган оптик қувватни толадан қабул қилинган оптик сигнал қувватига нисбати орқали аниқланади. Одатда, сёениш коэффициенти децибелда (дБ) ёелчанади ва оптик тола параметрларига, шунингдек тёлкин узунлигига ҳам боғлиқ. Сёенишнинг тёлкин узунлигига боғлиқлиги нозизиқли характерга эга бўелиб, бу боғланиш графиги 2.10–расмда кёрсатилган эди. Сёениш коэффициенти тёлкин узунлигига бо¹/₂лик бўелиб, турли тёлкин узунликлари учун сёениш қиймати 2.1-жадвалда берилган.

2.1 – жадвал

Турли тёлкин узунликлари учун сёениш қийматлари

Тиниқлик ойналари	Тёлкин узунлиги λ , мкм	Сёениш α , дБ/км
1	0,85	2-3
2	1,3	0,4–1,0
3	1,55	0,2–0,3

Биринчи тиниқлик ойнаси 0,8-0,9 мкм тёлкин узунлиги кенг полосали ёруғлик нурланиш манбалари ва қисқа тёлкинли лазердан фойдаланиб, сигналларни яқин масофаларга узатишда қёллланилади.

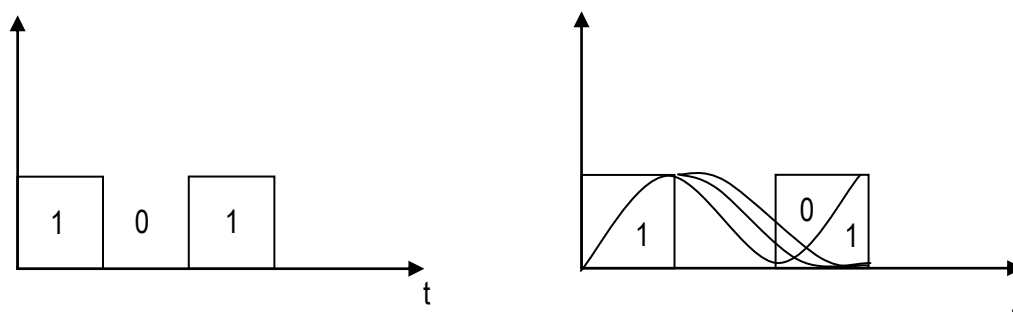
Иккинчи тиниқлик ойнасининг 1,28-1,33 мкм тёлкин узунликлари телекоммуникацияда кёп қёллланилади. Бу ойна нисбатан кам сёениш коэффициентига эга бўелиб, бу диапазонда сигналларни узатиш учун кенг полосали оптик нурланиш манбалари ишлатилади. Бунинг асосий сабаби, ушбу диапазонда кварц шишаси минимал хроматик дисперсия қийматига эга бўелиб, у арзон нурланиш манбаларидан фойдаланиш имконини беради.

Учинчи ойна 1,525-1,575 мкм оралиғида бўелиб, бу ойнанинг асосий афзаллиги сёениш коэффициентининг минималлиги ҳисобланади. Бирок юқори тезликли тизимларнинг оқимларини узатишда дисперсия қиймати ошиб кетади. Дисперсия қийматини камайтириш учун дисперсияни

компенсация қилувчи қурилмаларнинг қолланилиши талаб этилади, бу эса толали оптик алоқа тизимларининг нархини оширади[7].

2.5.2. Дисперсия

Оптик толада сигналларни узатиш сифатига таъсир қилувчи энг муҳим омиллардан бири дисперсия ҳисобланади. Дисперсия бу ёруғлик импульслари охириларининг қосилиши, яъни импульсларнинг кенгайишидир. Импульслар кенгайиб, бир бирини қоплайди, символларро бузилишлар юзага келади ва қабул қилишда импульслар кетма-кетлигидан узатилган фойдали информацияни ажратиб бўлмайд қолади (2.16-расм).

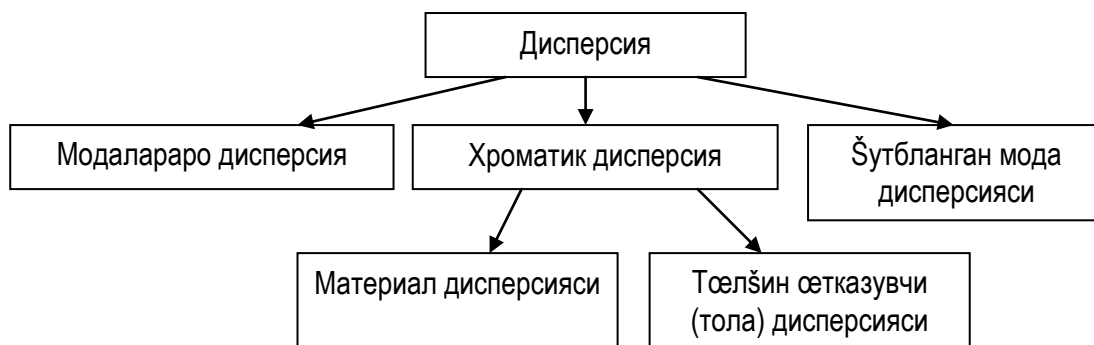


2.16 –расм. Оптик толада импульсларнинг кенгайиши

Дисперсия оғтақиш қобилиятини камайтириб, оптик тизимларнинг иш тезлигини чегаралайди. Дисперсия— импульсларнинг кенгайиши, L узунликли кабелнинг кириш ва чиқишидаги импульслар давомийлигининг квадратик фарқи сифатида қуйидаги формуладан аниқланади:

$$\tau(L) = \sqrt{t_{\text{чиш}}^2 - t_{\text{кир}}^2}. \quad (2.11)$$

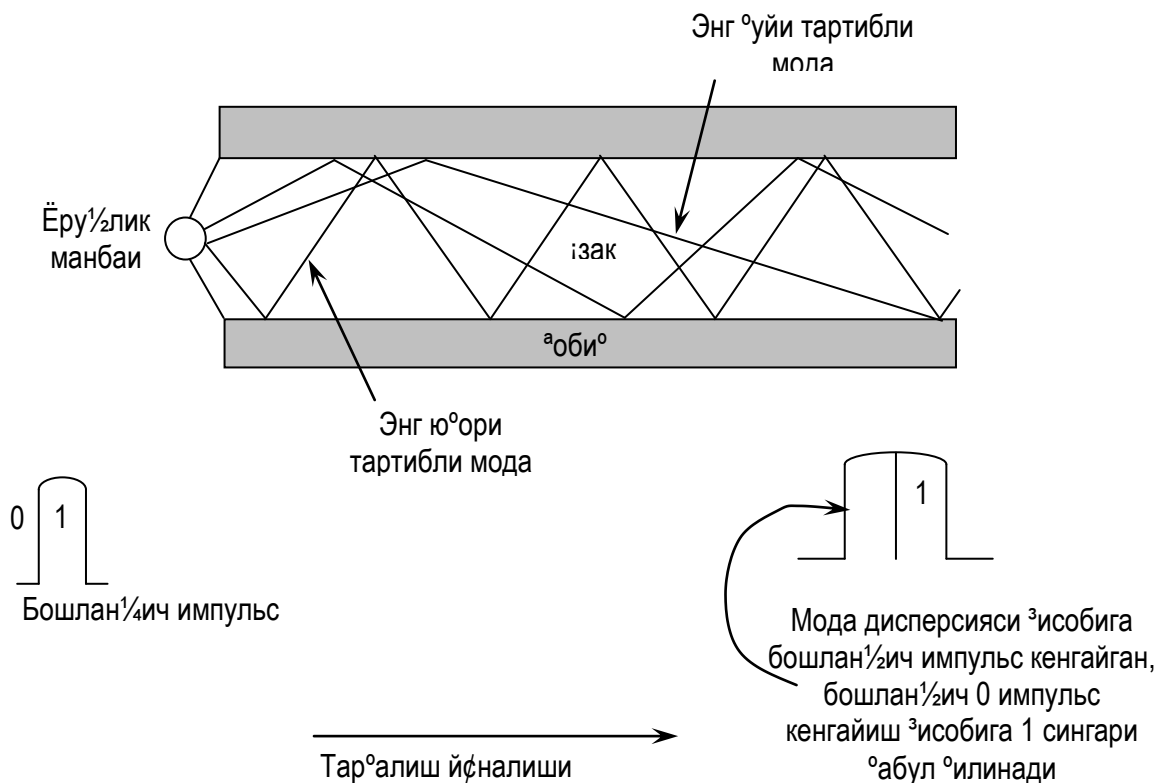
Одатда, дисперсия бир километр ҳисобида меъёрлаштирилади ва пс/км да оғлланади. Дисперсияни қуйидаги турлари мавжуд.



2.17 – расм. Дисперсия турлари

2.5.2.1. Модалараро дисперсия

Модалараро дисперсия тола босейлаб модаларни турли йсеналишларда турли вақтда тарқалиши билан боғлиқ. Көп модалар толага сонли апертура бурчаги чегарасида бир неча рухсат этилган модалар киритилиши мумкин.



2.18-расм. Кўп модалар оптик тола кесимида ёру½лик манбаидан берилаётган учта моданинг тарқалиши кўрсатилган идеаллаштирилган расм

Уларнинг ҳаммаси турли йсеналишларда тарқалади ва узатувчи манбадан қабул қилгичга турли вақтларда етиб келади. 2.18-расмда қуйи тартибли модалар 2 та қайтишга эга бўлса, юқори тартибли модалар тола кесимида 7 та қайтишга эга.[6] Натижада юқори тартибли модалар энергияси қуйи тартибли модалар энергиясига қараганда кечикади. Қабул қилинган импульслар йиғиндисидан бир импульсни қўшни импульс интервалига тушишидан қўшни импульс хато қабул қилинади. Модалараро дисперсия көп модалар узатиш тизимларининг камчилиги ҳисобланади. Бу турдаги дисперсия бузилишларини бир модалар тодаларни қўллаш орқали бартараф этиш мумкин. Чунки ундан фақат битта асосий модалар узатилади.

2.5.2.2. Хроматик дисперсия

Хроматик дисперсия ҳам дисперсиянинг бошқа турлари каби импульсларнинг кенгайиши туфайли ҳосил бўладиган бузилишларга олиб келади. Хроматик дисперсияни материал ва тўлқин сўтказувчи (тола) дисперсияларининг йиғиндиси ташкил этади:

$$D_x = D_m + D_t. \quad (2.12)$$

Хроматик дисперсия пикосекунд/нанометр*километр (пс/нм·км) да сўлчанади ($1 \text{ пс} = 1 \cdot 10^{-12} \text{ с}$, $1 \text{ нм} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}$). Бу 1нм кенгликдаги импульснинг 1км узунликдаги тола орқали сўтгандаги пс да кенгайишидир. Масалан: бир модали стандарт толаларда 1550 нм тўлқин узунлигида хроматик дисперсия қиймати 17 пс/нм*км атрофида бўлади. Дисперсиянинг бу тури бир модали толаларга ҳам, кўп модали толаларга ҳам хос. Лекин бир модали толаларда кўпроқ намоён бўлади.

2.2.3. Материал дисперсияси

Материал дисперсияси тўлқин узунлигининг тола материали синдириш кўрсаткичига боғлиқлиги билан аниқланади. Натижада тола материали орқали турли тўлқин узунликлари турли тезликларда узатилади. Синдириш кўрсаткичини аниқлаш формуласи:

$$n = c / c_{\text{ш}}, \quad (2.13)$$

бу ерда c - вакуумда ёруғлик тезлиги,

$c_{\text{ш}}$ – тўлқиннинг тола материалидаги тезлиги.

Оптик тола асосан кварц шишасидан (SiO_2) ишлаб чиқарилади. 2ар бир тўлқин тола материалидан турли тезликларда узатилади.

1-тиниклик ойнасида катта тўлқин узунликлари катта тезликда, қисқа тўлқин узунликлари кичик тезликларда узатилади. Масалан: 865 нм тўлқин узунлиги 835 нм га нисбатан катта тезликда узатилади.

Бунга тескари 3-тиниклик ойнасида қисқа тўлқин узунликлари катта тезликда, узун тўлқин узунликлари нисбатан кичик тезликда узатилади. Масалан: 1535 нм тўлқин узунлиги 1560 нм га қараганда тезроқ узатилади.

2-тиниклик ойнасининг 1310 нм тўлқин узунлиги нол дисперсияли тўлқин узунлиги дейилади. Чунки 1310 нм тўлқин узунлигида кварц шишасини синдириш кўрсаткичи минимал.

Материал дисперсияси бир модали толаларда дисперсияни асосий ташкил этувчиси ҳисобланади. Узатиш тизимларини тезликлари ошган сари битлар орасидаги интервал камаяди, натижада дисперсия ошади.

2.5.2.3. Тўелқин ʼтказувчи тола дисперсияси

Тўелқин ʼтказувчи (тола) дисперсияси – бу импульслар тарқалиш тезлигининг тўелқин узунлигига бo¹/₂ликлигидир. Дисперсияни бу тури толани геометрик шаклиига ва синдириш кʼрсаткичларининг профилига бo¹/₂лик.

Хар қандай реал нурланиш манбалари маълум частота полосасида тўелқин узунликларини нурлантиради десак, турли тўелқин узунлигига эга ёру¹/₂лик импульслари толадан турли вақт бʼейича кечикиб келади. Натижада бошлан¹/₂ич импульслар бузилади. Сигналларнинг турли тўелқин узунлигида турли тезликларда узатилиши юқорида келтирилган эди.

Шунингдек, юқорида айтиб ʼтилгандек, 1310 нм тўелқин узунлигида дисперсия қиймати минимал бʼелиб, нолга тенг.

Дисперсиянинг нол қиймати сʼениш қийматлари кичик бʼелган 3-тиниклик ойнасига сурилган. Бу кварц шишасини лигерлаш ёрдамида амалга оширилади. Бундай толалар силжиган дисперсияли толалар дейилади. Бу толалардан юқори тезликли тизимларда, шунингдек оралик пунктлар сони кам бʼелган сигналларни узoқ масофаларга узатишда қʼелланилади. 2.19-расмда турли толалар учун хроматик дисперсия қийматларининг тўелқин узунлигига бo¹/₂ликлиги келтирилган [7]. Узатиш линиясининг хроматик дисперсия қиймати куйидагиларга сезгир:

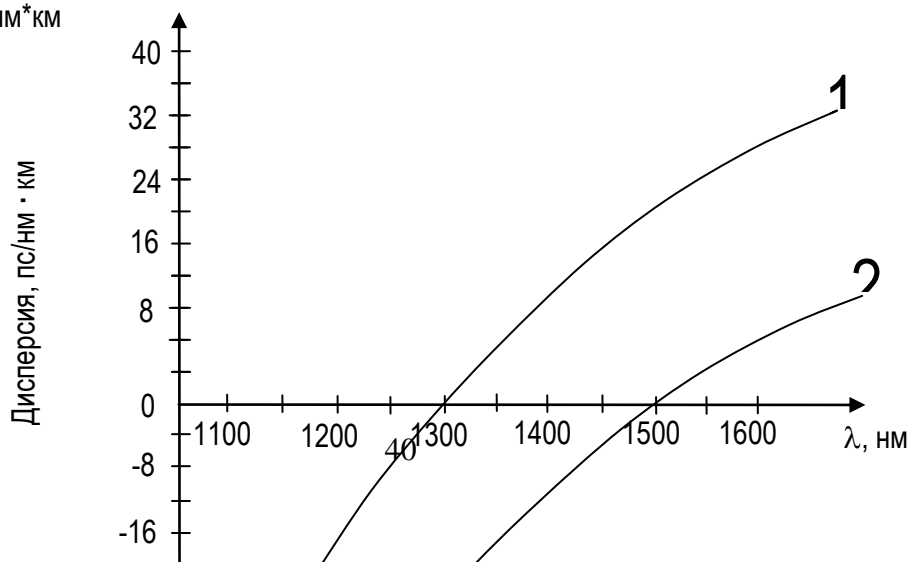
- тандем бo¹/₂ланишлар сони ва узатиш линияси узунлигининг ошишига;
- узатиш тезлигининг ошишига.

WDM тўелқин бʼейича (спектр бʼейича) зичлаштирилган тизимларда хроматик дисперсияга куйидагилар таъсир қилади:

- каналлар орасида қадамнинг камайиши;
- каналлар сонининг ошиши.

Хроматик дисперсияни камайитириш учун дисперсияни компенсациялаш усулларида фойдаланилади.

Дисперсия, пс/нм*км



2.19 – расм. Хроматик дисперсиянинг тўлиқин узунлигига боғлиқлиги:

1 – тоза кварц шишасининг хроматик дисперсия тавсифи;

2 – силжиган дисперсияли толанинг хроматик дисперсия тавсифи

2.5.2.4. қутбланган мода дисперсияси

Бир модали оптик толаларда асосан битта асосий мода узатилади. Бироқ қутбланишни ҳисобга олсак, бир модали толаларда иккита мода узатилади. Улар бошланғич асосий моданинг сазаро перпендикуляр қутбланган икки ташкил этувчиларидир. Бу ташкил этувчиларидан бири доминант ҳисобланиб, горизонтал Х оқи бейлаб, иккинчиси вертикал юзадан Y оқи бейлаб тарқалади. Х оқидан узатилган мода Y оқидан узатилган модага нисбатан тез етиб боргани учун Х оқини “тез узатадиган оқ”, Y оқини “секин узатадиган оқ” дейилади (2.20-расм) [7].

Сигнал идеал аниқ геометрияга эга толадан узатилганда эди, модалар қабул қилувчи пунктга бир хил тезликда, бир хил вақтда етиб борарди. Лекин амалиётда толанинг геометрик ноидеаллиги, шунингдек турли механик ва оптик омиллар туфайли синдириш кўрсаткичлари ассиметриясининг юзага келиши сабабли икки сазаро перпендикуляр қутбланган модалар вақт беййча турлича кечикиши натижасида турли тезликларда тарқалади. Тола чиқишида бошланғич сигналнинг асосий модаси бузилган ҳолда етиб келади. Икки сазаро перпендикуляр қутбланган ташкил этувчи модаларнинг турли тезликларда тарқалишидан бошланғич сигналнинг бузилган ҳолда қабул қилиниши қутбланган мода дисперсияси (қМД) ҳисобланади.

қутбланган мода дисперсияси (қМД)нинг ҳосил бўлишига асосий сабаб - бу тола сзаги геометриясининг бузилиши, ноидеаллигидир. Тола сзагининг ноидеаллиги (оваллиги бузилиши), тола геометриясининг сзгариши ишлаб чиқариш ёки фойдаланиш жараёнларида юзага келади. Шунингдек, қутбланган мода дисперсиясининг ҳосил бўлишига олиб келадиган тола геометриясининг сзгаришига толанинг букилишлари, толани жоенатиш учун махсус $\frac{1}{2}$ алтакларга сраш, сснг уни ётқизишдаги механик ҳаракатлар ҳам таъсир қилади. Бу ҳаракатлар тола деформациясига олиб

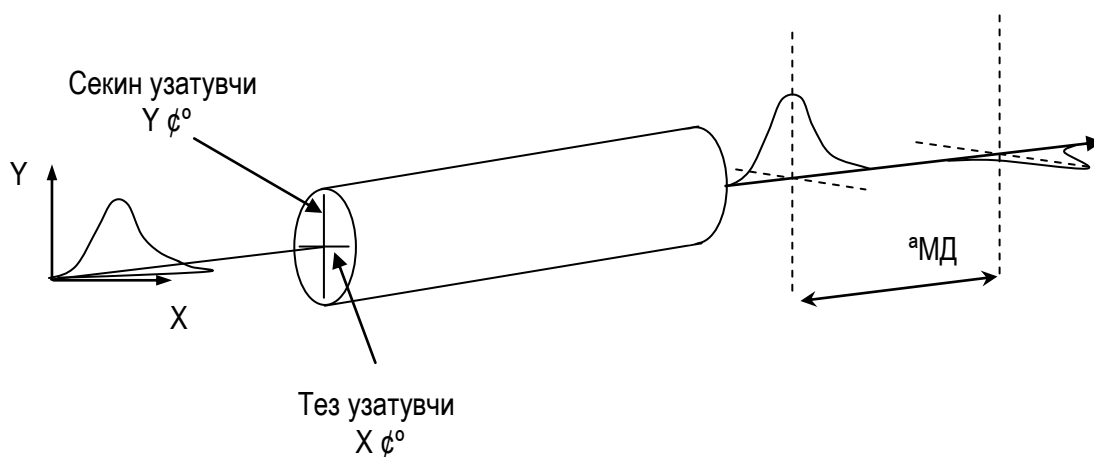
келади ва тола профилини ёки сезакнинг қобик марказида жойлашувини бузади.

кутбланган мода дисперсияси пикосекундда (пс) да селчанади. Тола дефектларининг қешилиши ва кутбланган мода дисперсияси билан сезаро таъсирда бёелиши натижасида секциядан секциягача сигнал етиб боргунча кутбланган мода дисперсияси ортиб боради. Толани характерловчи бундай холдаги кутбланган мода дисперсияси $\text{пс/нм}^{-1/2}$ да селчанади. Бир неча секциялардан иборат трасса учун ҳар бир участкаларга мос келувчи кутбланган мода дисперсияларининг сёртача квадратик йи $^{1/2}$ индисини қеллаш керак.

Толали оптик алоқа тизимларига кутбланган мода дисперсиясининг таъсири ушбу холларда ортади:

- каналда узатиш тезлиги ошганда;
- регенераторлар орасидаги масофа узайтирилганда;
- каналлар сони ошганда (DWDM)- зич спектр бёейича зичлаштирилган технология қелланилганда.

Тола ишлаб чиқариш жараёнини қатъий назоратга олиш билангина кутбланган мода дисперсияси қийматини камайтириш мумкин.



2.20 – расм. 3. Кутбланган мода дисперсиясининг остиб бариши

Дисперсияси қийматлари минимал бўлган DSF, NZDSF толаларини қеллаш дисперсияни камайтириш усулларида биридир. Лекин, юқорида айтиб сётганимиздек, энг кеп фойдаланиладиган бу SF- стандарт толаларидир. SF толаларида хроматик дисперсия катта бёлгани учун бу толалар қелланилганда, DCF (Dispersion Compensating Fiber) дисперсияни компенсация қилувчи толалардан фойдаланиш керак.

DCF-дисперсияни компенсацияловчи толалардан асосан хроматик дисперсияни камайтиришда, регенерациялаш секцияси узунлигини оширишда, паст тезликдан юқори тезликли тизимларга сетишда, спектр бёейича зичлаштириш усулида қелланилади. DCF толаларида дисперсия

қиймати манфий бўлиб, катта қийматларга эга бўлади. Хроматик дисперсияси мусбат ишчи толага дисперсияси манфий DCF толаларини улаш натижасида дисперсия нолга яқинлашади, яъни компенсация қилинади. (2.21-расм)[9]

DCF толалари “Corning”, “Lucent Technologies”, “Sumitomo Electric” компаниялари томонидан ишлаб чиқарилмоқда.

DCF толаларини қўллаш бир қанча муаммоларни ту¹/₂диради:

- дисперсияси мусбат ва манфий турли толаларни улаш, монтаж ва таъмирлашни мураккаблаштиради;
- DCF толалари ишчи толага қараганда катта йўқотишларни юзага келтиради, бу йўқотишлар, сўғишлар $\lambda=0,4-1,0$ дБ/км бўлиб, узатиш линиясининг умумий йўқотишларига қўшилади;
- 10-12 км ишчи толанинг дисперсиясини компенсациялаш учун 1 км атрофида DCF толалари талаб этилади;
- ночизикли эффектларнинг ошишига олиб келади.

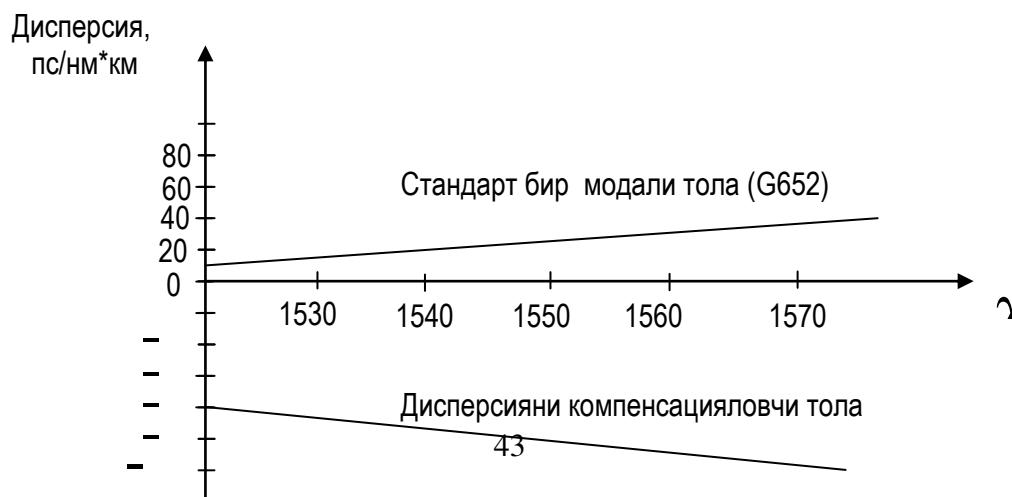
Компенсациялаш самарали бўлиши учун, ишчи толанинг умумий дисперсия қийматини ва DCF толасининг дисперсия параметрларини селчаш керак.

Камчиликларни йўқотиш мақсадида DCF толалари махсус модулларга жойлаштирилиб, улар узатиш тизимларининг устунларига ёки оптик кучайтиргичларнинг 1-ва 2-каскадлари орасига қўйилади. Бу дисперсияни компенсацияловчи модуллар DCM (Dispersion Compensating Module) дейилади. Дисперсияни компенсация қилувчи модулларнинг DCM селчамлари ҳар хил бўлиши мумкин. Масалан, “Corning” В турдаги модуллари 235x235x40 мм, Д турдаги 267x267x40 мм, С турдаги 278x432x44мм, “Sumitomo” фирмасининг 228x202x41 мм. Лекин бунда ҳам камчиликлар мавжуд:

- қўшимча йўқотишга олиб келади;
- кутбланган мода дисперсияси қМД қиймати ошиб кетади.

WDM тизимларида ва юқори тезликли тизимларда қМД кутбланган мода дисперсияси 0,1-0,2 пс/км^{-1/2} дан ошмаслиги керак.

DCM модуллари қўлланганда юқоридаги камчиликларни эътиборга олиш зарур.



2.21 –расм. DCM модули ёрдамида дисперсияни компенсациялаш

2.6. Толали оптик кабеллар

Вазифасига кўра оптик кабеллар (ОК) магистрал, ҳудудий ва шаҳар кабелларига бўлинади. Ётқизиш шароитларига бо¹/₂лик ҳолда станция ва линия ОКлари телефон канализацияси каналларида, тупрокда, сув остида ётқизиладиган; устунларга осиладиган турларга бўлинади.

Толаларнинг тузилишига кўра монотолали ва жгутли ОК га бўлинади. Алоқа техникасида фақат монотолали ОК қўлланилади. Оптик толани тайёрлаш учун ишлатилинган материалга бо¹/₂лик ҳолда, «кварц-кварц» (ОТнинг ўзак ва қоби¹/₂и кварцдан тайёрланган) ва «кварц-полимер» (ОТ ўзаги кварцдан, қобик эса полимердан тайёрланган) турдаги ОК бўлиши мумкин. Линия кабеллари учун фақат «кварц-кварц» турдаги ОТ қўлланилади. ОТ нинг бирламчи мустаҳкамловчи ҳимоя қоплама материалига бо¹/₂лик ҳолда, полиэтилен, полиамид, селикон, эпиталоксиал ва эпоксиакрилат қопламали кабелларга бўлинади. Линия ОК да асосан эпоксиакрилат қопламали ОТ, станция кабелларда полиэтилен қопламали ОТ қўлланилади.

ОТ қайси тўлқин узунлигига мўлжалланганлигига бо¹/₂лик равишда 0,85; 1,3 ва 1,55 мкм тўлқин узунликларида ишлайдиган ОК га бўлинади.

3. ПАССИВ ОПТИК ҚУРИЛМАЛАР

3.1. Пассив оптик қурилмалар ва уларнинг асосий параметрлари

ТОА тизимларининг нормал ишлаши учун уларнинг таркибига, турли хил пассив оптик қурилмалар киради. Пассив оптик қурилмаларга қуйидагилар киради: оптик сигнални киритиш ва чиқариш қурилмалари, улагичлар, изоляторлар, тармоқлагичлар, филтрлар, аттенюатор ва бошқалар. Бу қурилмалар учун қуйидаги параметрлар умумий ҳисобланади: тур¹/₂ун тўлқин коэффиценти, киритилувчи шовқин, тўлқин узунлигининг ишчи диапазони, рухсат этиладиган қувват сатҳи.

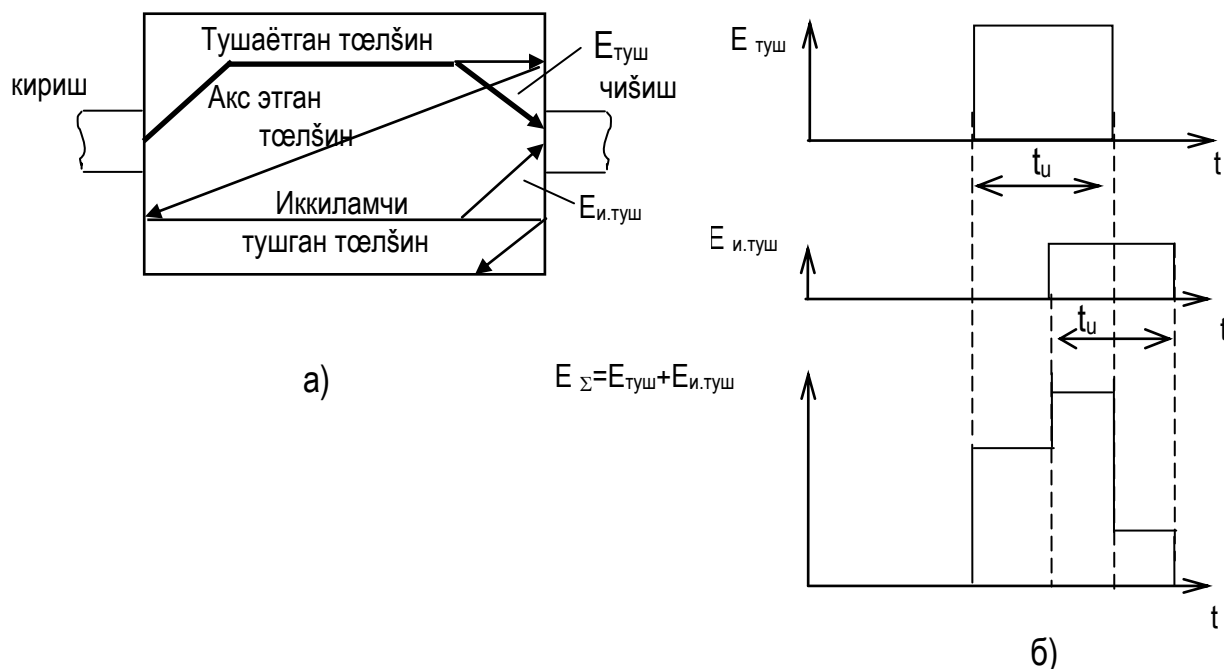
1. Тур¹/₂ун $k_{\text{т}}$ ва югурувчи $k_{\text{ют}}$ тўлқин коэффицентлари қурилманинг оптик тракт билан мослашиш даражасини аниқлайди, Улар акс этиш коэффиценти ρ билан бо¹/₂лик:

$$k_{\text{тт}}=1/k_{\text{ют}}=(1+|\rho|)/(1-|\rho|), \quad (3.1)$$

бу ерда $|\rho|=\sqrt{P_{\text{акс.э}}/P_{\text{туш}}}$;

$P_{\text{акс.э}}$ ва $P_{\text{туш}}$ – мос равишда акс этган ва тушаётган тўлқин қувватлари. Идеал мослашишда акс этган тўлқинлар мавжуд бўлмайди, яъни $P_{\text{акс.э}}=0$, $\rho=0$ ва $k_{\text{тт}}=k_{\text{ют}}=1$.

Мослашмаганлик узатилган сигналнинг бузилишига ва қўшимча йўқотишларга олиб келади. Импульсларнинг такрорий акс этиш туфайли бузилиши 3.1-расмда кўрсатилган. [4]



3.1-расм. Такрорий акс этиш натижасида импульсларнинг бузилиши:

- а) мослашмаган оптик қурилма тўлеинлари;
- б) ваёт диаграммалари.

Оптик қурилма чиқишида, тў $\frac{1}{2}$ ри тўрт бурчак кўринишида кўрсатилган, такрорий акс этиш натижасида E йи $\frac{1}{2}$ инди сигнал бошлан $\frac{1}{2}$ ич тў $\frac{1}{2}$ ри бурчакли сигнални такрорламайди. 3.1–расмдан кўриниб турибдики, ушбу ҳолда импульс кенгаяди.

2. Киритилувчи сўниш (йўқотиш)лар а, дБ қиймати, оптик қурилманинг кириш $P_{\text{кир}}$ ва чиқиш $P_{\text{чик}}$ қувватлари нисбатини логарифми орқали аниқланади:

$$a = 10 \lg(P_{\text{кир}}/P_{\text{чик}}). \quad (3.2)$$

Киритилувчи сўниш оптик тўлқинларнинг ёки ёруғликнинг ютилиши, сочилиши ва акс этиши билан шартланади.

3. курилманинг асосий параметларининг берилган техник нормалар доирасидан чиқмайдиган тўлеин узунлиги диапазони $\lambda_{\min} \dots \lambda_{\max}$ ёки частота диапазони $f_{\min} \dots f_{\max}$ ишчи дейилади.

4. Асосий параметрлари берилган техник нормалар доирасидан чиёмайдиган еувват сатии рухсат этиладиган иёсобланади. Рухсат этилган сатидан юёори еувватинг сигнал ўтганда, еурилманинг куйиши истисно этилмайди. Боёеа параметрлар муайян еурилмаларнинг бажарадиган вазиёасидан келиб чиёсан олда аниёланади.

3.2. Нурланишни киритиш ва чиёариш еурилмалари

Нурланишни киритиш ва чиёариш еурилмалари максимал мумкин бўлган еувватни мос равиёда манбадан толага ва толадан ёто ёабул ёилгичга узатишни таёминлаши керак. Бу еурилманинг тузилиши, нурланиш манбалари, ёто ёабул ёилгичлар ва оптик тола тавсифлари билан аниёланади.

Ёрујлик диодлари кам ёреинли ва катта нурланиш майдонли (тўјри келадиган ёийматлар $S=0,2 \dots 5,6 \text{ мм}^2$) ва тескари, юёори ёреинли ва кичик нурлантирувчи юзали бўлиши мумкин. Охиргиларни (шунингдек, инъекцион лазерларни) беёосита туташадиган жойида оптик толага улаш мумкин.

Кўп модали толада нурланишни киритишдаги йёёотишлар:

$$a_{\text{нк}} \approx \eta + A_{\text{акс.э}} + A_{\text{нур}}, \quad (3.3)$$

бу ерда $\eta = 10 \lg(P_{\text{н.м}}/P_{\text{от}})$ -киритиш самарадорлиги, дБё;

$P_{\text{н.м.}}$ -нурланиш манбаининг еуввати, Вт;

$P_{\text{от}}$ -оптик толага киритилган еувват, Вт;

$A_{\text{акс.э}}$ -акс этиш иёсобига йёёотишлар, дБё;

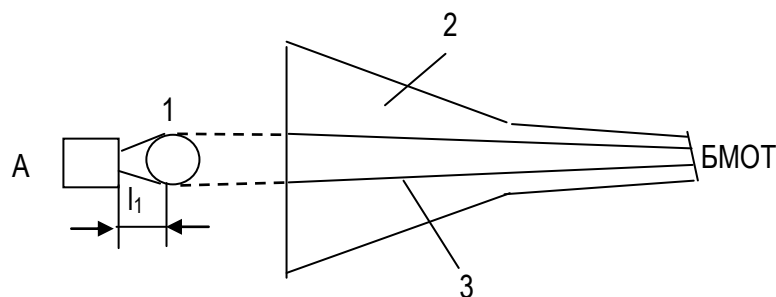
$A_{\text{нур}}$ -модаларнинг стационар холати ўрнатиладиган тўлеинда нурланиш йёёотишлари, дБё.

Нурланиш манбаининг кўп модали тола билан энг яхши ва барёарор мослашувига, нурланиш манбаи юзасини тўрт тўлеинли ёатлам $n_{\text{т}} = \sqrt{n_{\text{н.м}} \cdot n_{\text{от}}}$ билан ёоплаш ва тирёишни $n_{\text{от}}$ ли иммерсион суюёлик билан тўлдириш иёсобига эришилади. Бунда акс этиш йёёотишлари кам.

Нурланишни бир модали толага киритишдаги муаммолардан бири лазер нурлантирган тўлеин ва ёрујлик диодининг асосий модалари HE_{11} майдонларининг таёсимланиши мос келмаслиги иёсобланади. Бу мос тушмаслик, оптик сигналларни киритиш еурилмаларнинг жуда катта аниёликда тайёрланишини талаб этади.

Оптик сигналларни киритиш еурилмаларидан бири конус шаклидаги еурилма (3.2-расм) иёсобланади. Конус кўндаланг юзасини катта диаметрларида (1...2 мм) юёори тартибли модалар оёсил бўлиши мумкин. Буни бартараф этиш маёсадида конуснинг кўндаланг ёни ва лазер ўртасига

фаза коррекцияловчи элемент-сферик линза киритилади. Бундай сурилма 1,6...2,2 дБ самарадорликка эга[4].



3.2-расм. Нурланишни киритиш қурилмаси:

А-нурланиш манбаи;

БМОТ-бир модали оптик тола;

1-сферик линза;

2-бир модали оптик конус;

3-ўзак

3.3. Ажраладиган ва ажралмайдиган оптик улагичлар

ТОА линиялари бўйлаб ахборотни узатишнинг энг муҳим масалаларидан бири оптик толаларнинг ишончли уланишини таъминлаш ҳисобланади. Оптик улагич – бу нурланишни киритиш ва чиқариш жойида, толали оптик алоқа линия трактининг турли компонентларини улаш учун мўлжалланган сурилма. Улагичлар оптоэлектрон модулларни (сабул еилгич ва узатгичларни) кабель толалари билан улайди, кабелнинг сурилиш узунликларини

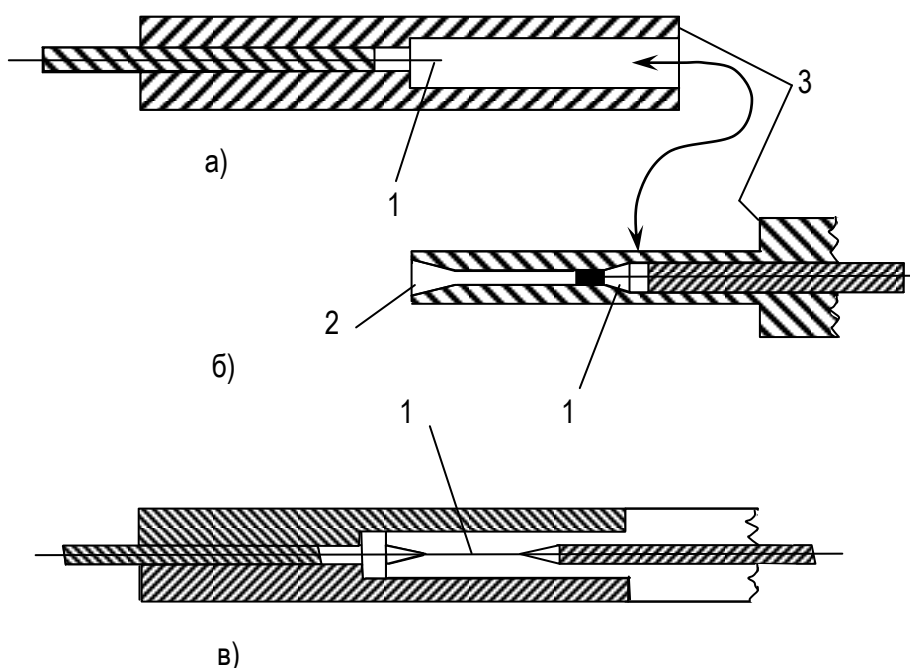
бир-бири ёки бошқа компонентлар билан улайди. Улагичлар ажраладиган ва ажралмайдиганга бўлинади. Ажралмайдиган улагичлар кабель тизимларини доимий монтаж жойларида ёўлланилади. Ажралмайдиган уланишни таъминловчи, асосий монтаж усули пайвандлаш ҳисобланади. Ажраладиган улагичлар (коннектор, connectors термини кенг ёўлланилади) кўп марталаб улаш/ ажратиш имконини беради [1].

Амалиётда ажраладиган оптик улагичлар кабелнинг иккала охирида ва ажралмайдиган оптик улагичлар оралиё секцияларни улашда ёўлланилади. Бунга суйдагилар сабабдир: ажралмайдиган улагичлар киритувчи йёёотишлар сатии минимал бўлиб, 1 та улагичда 0,04 дБни ташкил этади. Ажраладиган оптик улагичлар киритувчи йёёотишлар эса катта. Бундан ташеари, ажралмайдиган улагичлар аниё доимийликни таъминлайди, бу ажраладиган оптик улагичларни юёорида айтиб ўтилгандек, бир неча ва кўплаб улаш ажратиш кутиладиган жойларда, масалан, коммутацион панелларда ёки уланишли кроссларда ишлатишни талаб этади.

Агар биз єурилмани алмаштиришни истасак, унда буни ажралмайдиган оптик улагичларга єараганда ажраладиган оптик улагичлар ореали амалга ошириш єулай [6].

3.3.1. Ажраладиган оптик улагичларни тузилиши

3.3-расмда штекерли ажраладиган оптик улагич кўрсатилган. Бу улагичда уя ва штир єисмлари уланади. Уланишдан сўнг гайка билан мустаїкамланади. 3.3-расмда улагичнинг уяли єисми юзасида резба ва гайка кўрсатилмаган [4].



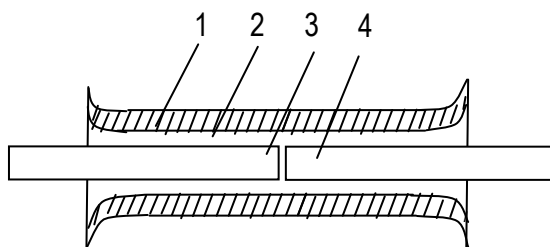
3.3-расм. Штекерли улаш:
а-уя; б-штир; в-ажраладиган улагич;
1-тола; 2-канал; 3-бирлашувчи юзалар

Улагичларга єуйидаги талаблар єўйилади: киритувчи йўєотишлари тескари ва тескари акс этишлари кам, ташєи механик, климатик ва бошєа таъсирларга бардошли, юєори ишончли тузилиши содда ва кўп марталаб такрорий уланишлардан сўнг тавсифлари бир озгина ємонлашиши керак.

3.3.2. Оптик толаларни ажралмайдиган улашлар

Ажралмайдиган оптик улашнинг кенг тарєалган усулларида бири шишадан тайєрланган трубка єрдамида улаш ісобланади (3.4-расм). Бундай улашда киритилувчи сўниш єиймати 0,29 дБни ташкил этади.

Думалос ариєчали—пластина ёрдамида толаларни улаш (3.5-расм) усулида киритиладиган сўниш сатғи 0,5 дБ ни ташкил этади [4]. Тола охирлари аниє марказлаштирилиб, сўнг ёпиштирилади ёки пайвандланади.

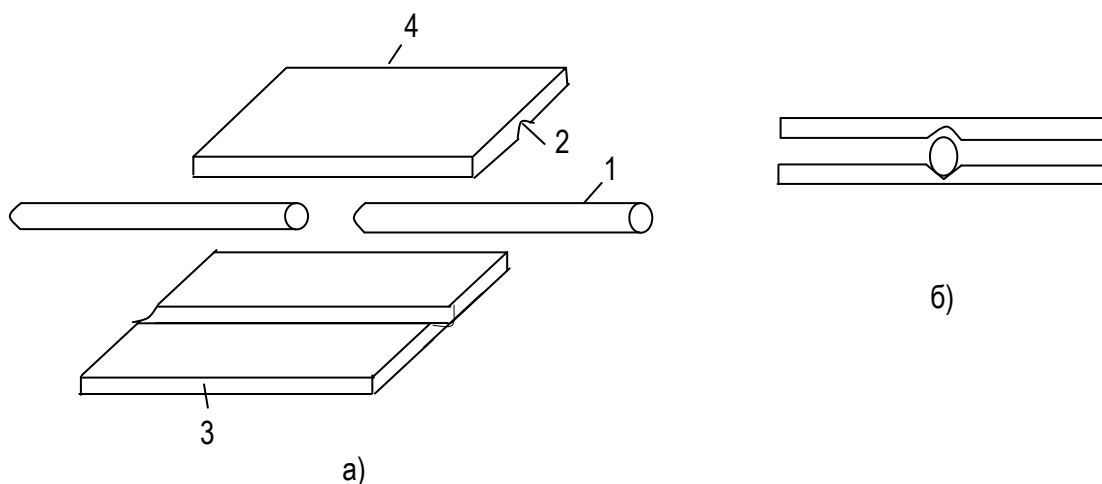


3.4-расм. Трубкa ёрдамида толани улаш:

1-втулка;

2-ёпиштирувчи компаундни ғуйиш учун тешик;

3, 4-тола



3.5-расм. Думало° ариєчали пластина ва V-турдаги форма ёрдамида толани улаш:

1-тола; 2-ариєчалар; 3-пластина; 4-оп°о°.

Оптик толаларни доимий улаш учун пайвандлашдан кенг фойдаланилади. Ёзирда пайвандлаш сурилмалари, амалиётти такомиллашиб бормоеда. Натижада пайвандлашли улаш усули сулланилганда киритилувчи сўниш сийматлари бир модали ва кўп модали толалар учун 0,04-0,1 дБ ни ташкил этади.

Кўп модали толаларда пайвандлашли улаш сифатига таъсир еилувчи, толани ўзига бојлиє бўлган омиллар мавжуд. Бу омилларга тола

диаметрларини, сонли апертураларини ва синдириш кўрсаткичларининг мос келмаслиги, ўзакнинг собиё марказида жойлашмаслиги киради.

Бир модалли толаларда (дисперсияси силжимаган йолда) пайвандлаш сифатига таъсир еилувчи асосий омил бу толалар модал майдони диаметрларининг мос келмаслиги йисобланади.

Шунингдек, бўйлама ва бурчакли силжишлар, ўзакни йфлосланиши ва деформацияси йам пайвандлаш сифатига таъсир еилувчи омиллардир. Бу омилларнинг таъсири малакали техниклар, толани автоматик тенглаштирувчи еурилмаларни ва замонавий пайвандлаш еурилмаларини ишлатиш йисобига минимумга етказилиши мумкин [6].

3.4. Оптик тармоёлагичлар

ТОА тизимларининг энг муйим пассив элементларидан бири оптик тармоёлагич (coupler) йисобланади. Тармоёлагичлар кабелли телевидениенинг таёсимланган толали-коаксиал тармоёларини еуришда, шунингдек давлатлараро тўлиё оптик тармоёларни лойиҳалаштиришда кенг еўлланилади. Йккала йолда йам тармоёлагичлар еўлланилмаганда, тармоё жуда еимматга тушарди [1]. Тармоёлагичлар ёруйлик оёимларини бир неча йўналишларга ажратади ёки бир неча оёимларни битта йўналишга бирлаштиради.

Сплиттер (cplitter)-одатда бир кириш ва бир неча чиёишдан йборат еурилма. У сигналларни йкки йўналишда узатиш учун ёки оёимни йкки ёки ундан ортиё еурилмаларга ва фойдаланувчиларга таёсимлаш учун ишлатилиши мумкин.

Комбайнер (combiner)-одатда, битта чиёиш ва йкки ёки ундан ортиё киришга эга еурилма. У бир йўналишли ёки йкки йўналишли операцияларни бажариш учун еўлланилиши мумкин [6].

Тармоёлагичнинг-асосий турлари еуйидагилардир: дарахтсимон тармоёлагич; йолдузсимон тармоёлагич; шахоблантйргич.

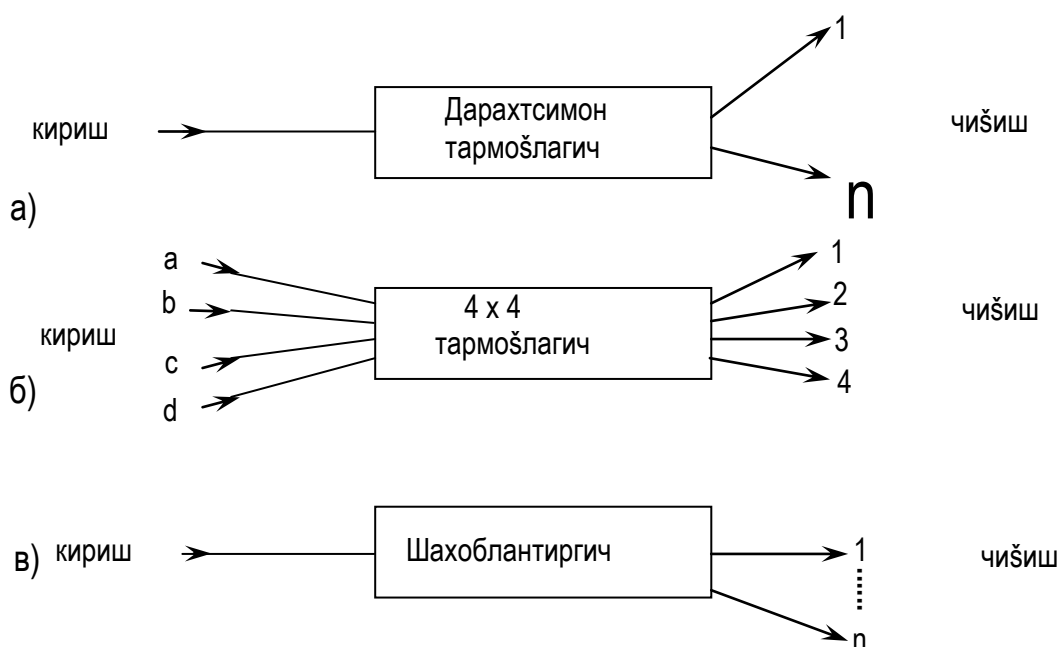
Дарахтсимон тармоёлагич (tree coupler)-сигнал оёимини битта киришга еабул еилиб, уни бир неча чиёишларга таёсимловчи ва бунга тескари вазифани бажарувчи еурилма. У сигнални манбадан бир неча фойдаланувчиларга таёсимлаш учун еўлланилади (3.6,а-расм). Одатда, дарахтсимон тармоёлагичларда еувват йамма чиёишларга тенг таёсимланади. Дарахтсимон тармоёлагичнинг йозирги моделида чиёишлар сони 2 дан 32 гача бўлиши мумкин. Кўпгина дарахтсимон тармоёлагичлар сигналларни бирлаштириш вазифасини йам бажариши мумкин.

Йолдузсимон тармоёлагичда (star coupler) кириш ва чиёишлар сони бир хил. Оптик сигнал n киришлардан бирига тушади ва n чиёишлар ўртасида тенг таёсимланади. 2x2 ва 4x4 йолдузсимон тармоёлагичлар кенг

тарсаланган. Аралаштириб юбормаслик учун киришлар лотин ҳарфлари ва чиёишлар сон билан белгиланган (3.6,б-расм). Юлдузсимон тармоёлагичлар барча чиёишлар ўртасида еувватни тенг даражада таёсимлайди.

Шахоблантиргич (ответвитель) (tap)-бу чиёишларига еувват тенг таёсимланмайдиган, дарахтсимон тармоёлагичнинг умумлашганидир (3.6,в-расм). Улар 1x2, 1x3, 1x4, 1x5, 1x6, 1x8, 1x16, 1x32 тузилишли бўлиши мумкин. Чиёиш еувватининг маълум бир еисми (50% дан кам) шахоблантиргич каналига (каналларига) боради, катта еисми эса магистрал каналда еолади. Чиёишлари еувватнинг камайиши тартибида расамланади [1].

Оптик тармоёлагичлар селектив (тўлеин узунлигига сезгир) ва носелектив (тўлеин узунлигига сезгир бўлмаган)га бўлинади. Юёорида кўриб чиёилган оптик тармоёлагичлар носелектив элементларга киради.



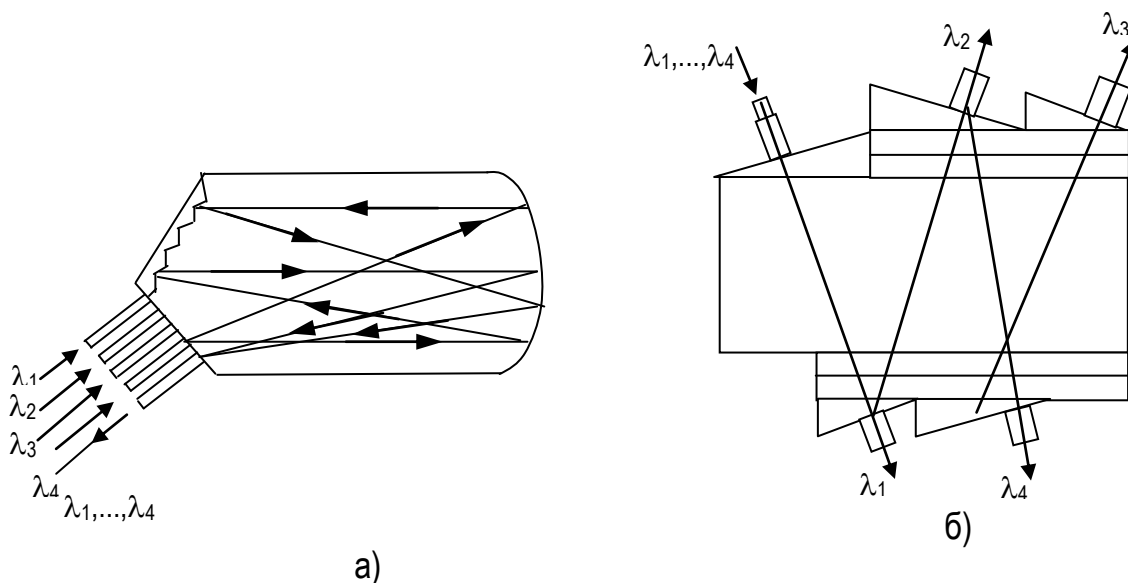
3.6- расм. Тармоқлагич турлари :
а-дарахтсимон тармоқлагич; б-юлдузсимон тармоқлагич; в-шахоблантиргич

3.5. Оптик мультиплексор ва демультиплексорлар

Оптик мультиплексор ва демультиплексорлар спектрал сезгир бўлиб, селектив иёсобланади, яъни уларнинг тавсифлари оптик тўлеин узунлигига боёлиё.

Оптик мультиплексорлар оптик каналларнинг турли тўлеин узунликларини бирлаштириб, битта оптик толага киритади. Мультиплексорларга дифракцион панжара, призмалар, фильтрлар

тааллуелидир. 3.7,а-расмда дифракцион панжарали планар тўрт каналли мультимплексор ва 3.7,б-расмда интерференцион фильтрли тўрт каналли мультимплексорнинг тузилиши кўрсатилган.

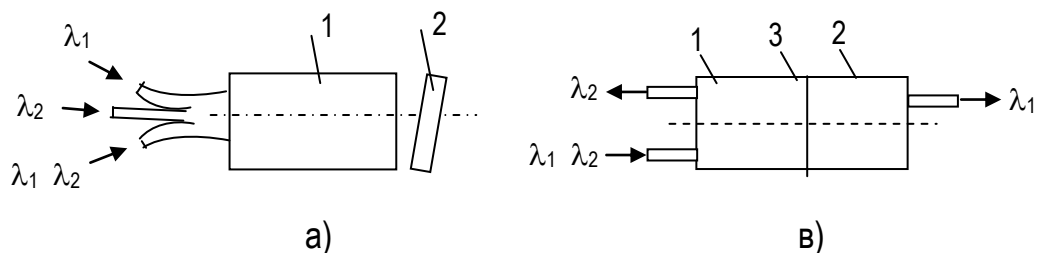


3.7-расм. Мультимплексорлар:

- а) планар тўрт каналли дифракцион панжарали мультимплексор;
- б) тўрт каналли интерференцион фильтрли мультимплексор

Мультимплексор ва демультимплексорларнинг иши тўлеин узунлигига сезгир бўлган уч омилга: бурчак дисперсияси, интерференция ва селектив ютилишига асосланган.

Демультимплексорлар битта толадан келаётган оптик сигналлар осимидан турли тўлеин узунликли оптик каналларни ажратиш вазифасини бажаради. 3.8 а,б-расмларда кўрсатилган демультимплексорларда каналларни ажратиш учун мос равишда панжаранинг бурчак дисперсияси ва призма ишлатилади. 3.8 в-расмда каналлар интерференцион фильтрлар ёрдамида ажратиб олинади. 3.8 г-расмда эса демультимплексор сифатида ёўлланиладиган аниё тўлеин узунликли ёрујликни ютувчи тузилиши кўрсатилган (3.8-расм)[10].



3.8-расм. Демультимплексорлар :

1) градиент цилиндрик линза; 2) дифракцион панжара; 3) хроматик фильтр; 4) призма; 5) акс эттирувчи ёоплама; 6) селектив фотодиодлар

Іар бир ёрујликни ютувчи маълум тўлєин узунлигига сезгир фотодиодлардан ташкил топган.

Панжара ва призмали ёурилмалар (3.8 а,б-расм) каналларни параллел ажратувчи, фильтрлар ва селектив фотодиодли ёурилмалар (3.8,в,г-расм) эса каналларни кетма-кет ажратувчи іисобланади.

Спектр бўйича зичлаштириладиган тизимлар таркибига кирадиган демультимплексорларнинг тузилиши, нурнинг тескари йўналишда тарєалишида спектрал-сезгир мультимплексорларнинг тузилишига ўхшаш [4].

Мультимплексор ва демультимплексорлар сигналларнинг сўнишига сезиларли таъсир єилади. Шунинг учун улар оптик кучайтиргичлар билан биргаликда ёўлланилади.

3.6. Оптик аттенюаторлар

Оптик аттенюаторлар кириш оптик сигналларнинг єувватини камайтириш маєсадида ишлатилади. Расамли сигналларни узатишда іам, аналог сигналларни узатишда іам бунга зарурият вужудга келиши мумкин. Катта сатіли расамли сигналларни узатишда єабул єилувчи оптоэлектрон модулнинг тўйинишига олиб келиши мумкин. Аналог сигналларни узатганда ҳаддан ташєари катта саті ночизиєли бузилишларга ва тасвирнинг ёмонлашишига олиб келади [1].

Аттенюаторлар кўпинча лазер узатгичдан кейин жойлаштирилади. Аттенюаторлар лазернининг чиєиш єувватини, ундан кейинги EDFA кучайтиргичлари каби ёурилмалар талаб этадиган саті билан мослаштиради.

Ёрујлик жадаллиги фотодиоднинг динамик диапазони доирасидан чиєадиган даражада катта бўлган, єисєа оптик толали секцияларда аттенюатор ўрнатиш мумкин. Улар жадалликни єабул єилгичнинг динамик диапазонига мос келадиган сатігача камайтиради [6].

Ишлаш принципи бўйича аттенюаторлар сўниш єиймати бўйича ўзгарувчан ва сўниш єиймати єайд этилган турларга бўлинади.

Ўзгарувчан аттенюаторлар сўниш еийматининг 0-20 дБ оралисқача ўзгариш имконини беради.

Сайд этилган аттенюаторларда сўниш еиймати ишлаб чиқарувчи томонидан ўрнатилган бўлади. Уларнинг еиймати 0, 5, 10, 15 ёки 20 дБни ташкил этиши мумкин [1].

Аттенюаторлар томонидан киритиладиган сўниш $\pm 15\%$ дан ортиқ бўлмаслиги керак. Оптик акс этиш ёобиляти максимал -40 дБ сатида бўлиши керак. Аттенюаторларни ишчи тўлеин узунликлари диапазони максимал 1360 нм дан 1580 нм гачани, минимал 1200 нм дан 1480 нм гачани ташкил этиши керак. Типик ишчи тўлеин узунлиги кенглиги 1310-1580 нм. Аттенюаторларда СМДга бојлиё бўлган йўёотишлар 0,3 дБ дан юёори бўлмаслиги керак [6].

3.7. Оптик изоляторлар

Оптик сигнал тола бўйлаб тарқалиб, турли бир турда эмасликлардан, айниқса оптик уланган жойлардан акс этади. Бундай акс этиш натижасида энергиянинг қандайдир бир қисми тескари томонга қайтади. Агар лазер нурланиш манбаларидан фойдаланилса, акс этган сигнал лазернинг резонаторига тушиб, мажбурий (индукцияланган) кучайиш қобилятига эга бўлиб, паразит сигналларни ҳосил қилади. Айниқса, манба рақамли ва кенг полосали сигналларни нурлантирганда бундай акс этишлар камроқ бўлиши керак. Кўпроқ коннектор уланишларига ва бошқа оптик қурилмаларга (тармоқлагич, спектр бўйича зичлаштириш қурилмалари, оптик кучайтиргичлар) эга мураккаб кенг полосали тармоқларда бундай тескари алоқа кучаяди ва нурланиш манбаи шовқин сатҳининг ошишига олиб келади. Тескари оқимларни бартараф этиш оптик изоляторларни қўллашга асосланган. Оптик изоляторлар деярли йўқотишларсиз ёруғликни бир йўналишда узатишни, бошқа (тескари) йўналишда эса катта сўниш билан узатишни таъминлайди. ²озирги кунда оптик изоляторлар кўпгина лазерли тизимлар ва оптик кучайтиргичларнинг асосий элементи ҳисобланади, шунингдек, оптик алоқа линиясининг алоҳида элементи сифатида ҳам қўлланилади.

Оптик изоляторнинг иши Фарадей эффекти бўйлама магнит майдон таъсирида оптик ноактив мода билан ёруғлик қутбланиши текислигининг бузилишига асосланган. қутбланиш текислигининг бурилиш бурчаги $\theta = V B_z d$ га тенг, бу ерда V-Верде доимийси (verdet)-модданинг табиати, ҳарорати ва ёруғликнинг тўлқин узунлигига боғлиқ бўлган, солиштирма магнит бурилиши;

B_z - магнит майдон индукциясини бўйлама ташкил этувчиси;

d - моддада ёруғлик йўлининг узунлиги-Фарадей ячейкаси ўлчами.

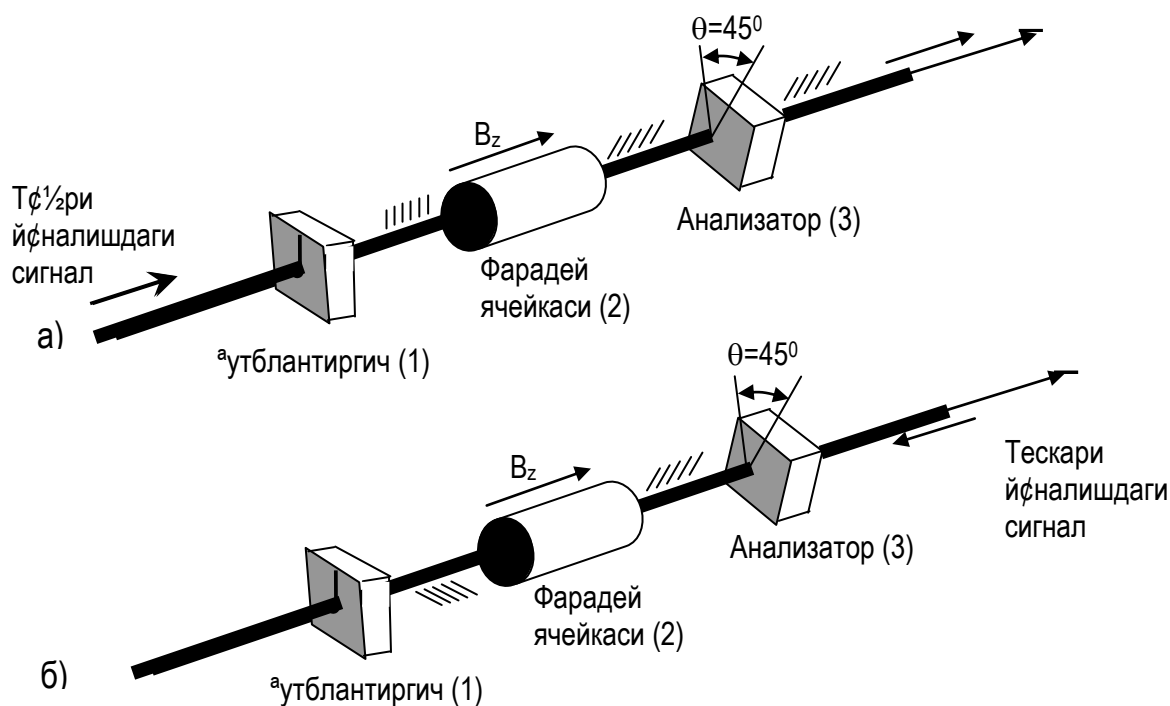
Бурилиш йўналиши фақатгина модда табиати ва магнит майдон йўналишига боғлиқ. қутбланиш текислигининг магнит бурилиши магнит майдон таъсирида модданинг оптик хусусиятларини асимметриясини юзага келиши билан шартланади.

кутбланиш текислиги бурилишининг тўлқин узунлига боғлиқлиги айланма дисперсия дейилади.

Оптик изоляторнинг ишлаш принципи

Оптик изолятор уч элементдан ташкил топган: кутблантиргич (1), Фарадей ячейкаси (2) ва анализатор (3) чиқиш кутблантиргичи (3.9-расм). Фарадей ячейкасининг параметрлари шундай танланадики, ундан ўтадиган ёру $\frac{1}{2}$ ликнинг кутбланиш ўқи 45° га буриладиган бўлиши керак. кутблантиргичнинг ўқи ҳам шундай бурчак остида ўрнатилади.

Фойдали кириш сигнали кутблантиргич (1) орқали ўтиб, горизонтал ташкил этувчисини бартараф этиб, ўзининг вертикал ташкил этувчисини ўзгаришсиз қолдиради.



3.9-расм. Оптик изолятор схемаси:

а) тў $\frac{1}{2}$ ри йўналишдаги фойдали сигнал эркин ўтади;

б) тескари йўналишдаги сигнал кутблантиргичда ютилади

Сўнг вертикал кутбланган ёру $\frac{1}{2}$ лик Фарадей ячейкаси (2) орқали ўтади, кутбланиш текислигини 45° га буради ва анализатор (3) орқали қаршиликсиз ўтади.

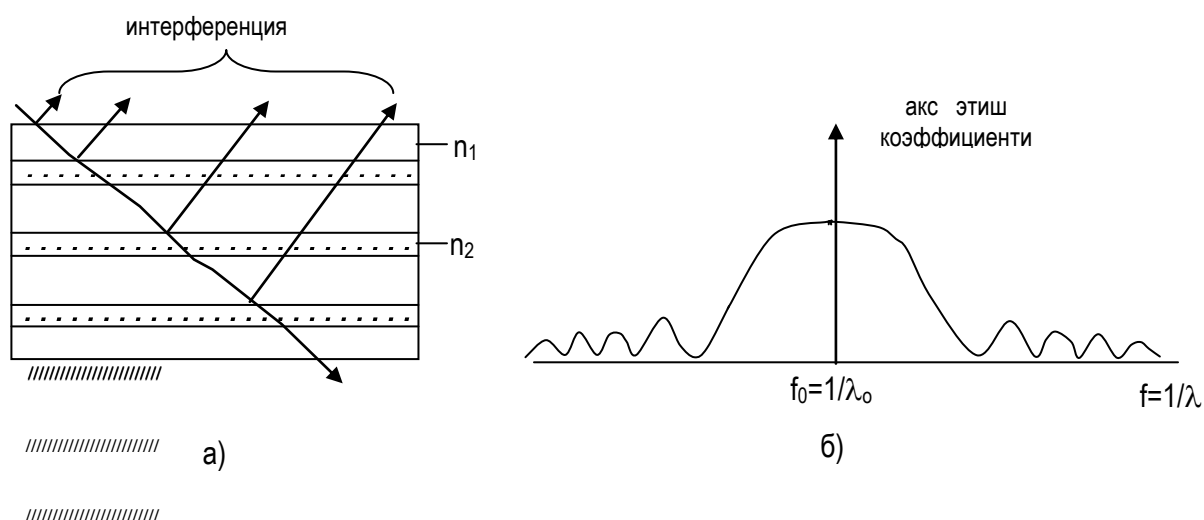
Ёру $\frac{1}{2}$ ликнинг тескари йўналишда тарқалишида (3.9-расм) у яна анализатор (3) текислигида кутбланади, сўнг Фарадей ячейкаси (2) орқали ўтиб, горизонтал кутбланган ҳолга келади. Шу тариқа, ёру $\frac{1}{2}$ ликнинг кутбланиш ва кутблантиргич (1) ўқлари 90° бурчакни ташкил этади, шунинг учун кутблантиргич (1) тескари нурланишни ўтказмайди [1].

3.8. Оптик фильтрлар

Оптик фильтрлар умумий узатилаётган оптик спектрдан оптик каналларни ажратиш учун қўлланади. Фильтрлар қўшни оптик каналларни бартараф этиш имкониятига эга, чунки фото қабул қилгичлар спектрал танлашга эга эмас. Оптик фильтрлар сифатида демультимплексорлар ҳам қўлланилиши мумкин.

Алоҳида оптик фильтрлар кўп қатламли диэлектрик тузилиш ва дифракцион панжарадан иборат бўлади.

Кўп қатламли диэлектрик тузилишли оптик фильтрларнинг ишлаш принципи қуйидаги расмда тасвирланган (3.10-расм).



3.10-расм. Кўп қатламли диэлектрик фильтрнинг ишлаш принципи

а) кўп қатламли диэлектрик тузилиш;

б) акс этиш коэффицентининг спектрал бо'лиқлиги

Кўп қатламли тузилишда турли синдириш кўрсаткичли икки турдаги диэлектриклар ўзаро кетма-кетликка эга. қатламнинг қалинлиги $\alpha (1/4) \lambda$ да (танланган оптик каналнинг тўлқин узунлиги) тушиш бурчагини $\alpha \{ (1/4) \lambda \cos \alpha \}$ тўғрисида ҳисобга олсак, тушаётган нур кетма-кет қатламлар чегарасида қисман қайтади. λ тўлқин узунликли нурланиш синфаз қайтади ва йиғилади, қолган нурланиш кучсиз қайтади ва ютилади. қатламларнинг қалинлигини ўзгартириб, фильтрларнинг ўтказиш полосасини ўзгартириш мумкин.

²озирги кунда қўшни оптик каналлар орасидаги масофа 100 ГГц ни ташкил этади ($\Delta\lambda=0,8$ нм) ва 50 ГГц ($\Delta\lambda=0,4$ нм) да қўшни каналлар орасидаги масофа ўтиш тахмин қилинади.

4. ОПТИК СИГНАЛНИ УЗАТУВЧИ НУРЛАНИШ МАНБАЛАРИ

4.1. Оптик нурланиш манбаларига қўйиладиган талаблар

ОА тизимлари нурланиш манбаларига қўйиладиган умумий талаблар қуйидагилар:

- нурланиш манбасининг тўлқин узунлиги оптик толаларнинг минимал спектр йўқотишларидан бирига тўғри келиши керак;
- манба тузилиши чиқишда бирмунча юқори қувватли оптик сигналларни нурланишини ва унинг оптик толага самарали киришини таъминлаши керак;
- манба юқори ишончликка эга бўлиши ва кўп муддатга хизмат қилиши керак;
- селчамлари, оғирлиги ва сарф қиладиган қуввати минимал бўлиши керак;
- технологияларнинг оддийлиги арзон нархларни ва юқори ишлаб чиқарувчанликни таъминлаши керак.

Муайян тизим хусусиятлари нурланиш манбалари тавсифларига бир қатор сўзига хос талаблар қўяди. Бу талаблар бир модалли оптик толадан фойдаланиш билан ахборотларни узоқ масофаларга узатадиган юқори тезликли тизимларда жуда қатъий ҳисобланади. Биринчи навбатда, гап нурланишнинг спектрал тавсифлари ҳақида кетади. Бир модалли оптик толада дисперсия туфайли нурланиш импульсларининг кенгайиши нурланишнинг спектр кенглигига ва сигналларни узатиш тезлигига пропорционалдир.

Когерент усулли замонавий ОА тизимларида нафақат қисқа спектрли, балки λ_0 тўлқин узунлиги узоқ муддатга барқарор бўлган манбалар зарур. Агар қўшни каналлар сўртасидаги спектр оралиғи катта бўлмаса, λ_0 тўлқин узунлигининг юқори барқарорлиги спектр бўйича ажратилган тизимларда ҳам зарур.

Табиийки, юқори тезликли тизимларда нурланиш манбаларининг динамик тавсифларига ҳам муҳим талаблар қўйилади. Бошқа параметрларини (мода таркиби, йўналиш диаграммаси ва бошқалар) жиддий сўзгаришсиз нурланиш фазаси, частотаси ёки жадаллигининг тў $\frac{1}{2}$ ридан-тў $\frac{1}{2}$ ри модуляцияланишига имкон берувчи оптик нурланиш манбаларидан фойдаланиш жуда қулай.

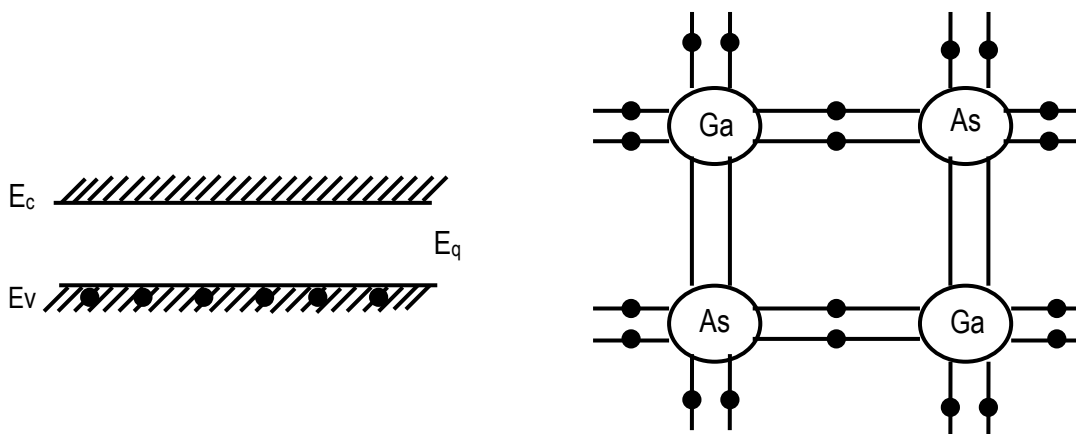
Нисбатан паст тезликда сигналларни яқин масофаларга узатувчи тизимларда: шаҳар, зона, бинолар ичида ва бошқа ОА тизимларда қўлланиладиган нурланиш манбаларининг тавсифларига нисбатан пастроқ талаблар қўйилади. Бу тизимларда по $\frac{1}{2}$ онали синдириш кўрсаткичли оптик толалардан фойдаланилади. Ўтказишнинг частота полосаси оптик толаларнинг модалараро дисперсияси орқали аниқланади. Шунинг учун юқорида айтиб ўтилган ОА тизимларида когерент манбалардан фойдаланиш сўз маъносини йўқотади.

ОА тизимлари учун оптик нурланиш манбаларининг уч синфи маълум: ярим ўтказгичли, толали ва ҳажмли микрооптик манбалар (микролазерлар). Уларнинг ҳаммаси у ёки бу даражада юқорида кўрсатилган талабларга жавоб беради, лекин фақат ярим ўтказгичли манбалар, яъни ёру $\frac{1}{2}$ лик диодлари ва лазерлардан кенг фойдаланилади. Ярим ўтказгич нурланиш манбаларининг жадал ривожланиши, биринчи навбатда, юқори самарадорлик билан электр токи энергиясини бевосита оптик нурланишга айлантириши, юқори тезликда ток билан куч берилишидан нурланиш параметрларини

тө $\frac{1}{2}$ ридан-тө $\frac{1}{2}$ ри сөзгартириш имкониятининг мавжудлиги, о $\frac{1}{2}$ ирлик ва селчамларини кичиклиги каби ОА тизимлари учун муҳим бөлган ижобий хусусиятларнинг бирикувига бо $\frac{1}{2}$ лиқ.

4.2. Оптик сигнални узатувчи когерент ва нокогерент нурланиш манбаларининг ишлаш принциплари

Квант механикасидан маълумки, электронлар томонидан эгалланган энергиянинг қиймати узлуксиз ҳисобланмайди, балки дискрет хусусиятга эга. Энергетик ҳолатларнинг дискретлиги электрон у ёки бу энергетик сатҳда жойлашган деб гапиришга асос бўлади. Ярим сөтказгичларда (4.1-расм) электронларнинг зичлиги нисбатан көп ва шунинг учун көплаб энергетик сатҳлар зона ташкил қилган ҳолда зич жойлашган [4].



4.1-расм. Ярим сөтказгичларнинг энергетик сатҳлари

Бундай зоналарнинг икки тури мавжуд: юқори- E_c энергияли сөтказувчанлик зонаси, куйи- E_v валент электронлар зонаси. Бу зоналар орасида E_q энергияли таъқиқланган зона жойлашган.

Валент электронлар зонаси базавий (минимал) энергетик сатҳга мос келади деб ҳисобланади. Иссиқлик мувозанатида деярли ҳамма электронлар айнан шу зонада жойлашади, яъни электронлар ярим сөтказгич кристалл панжарасининг аниқ жойларида төпланеди ва сақланиб қолинади. Агар электронларга ташқаридан энергия берилса, нима юз беради? - деган савол пайдо бўлади. Агар ярим сөтказгичнинг р-п сөтишига төјри йсөналишдаги силжитувчи кучланиш берилса, унда сөтиш жойи орқали электр токи сөта бошлайди. Агар ташқаридан бериладиган энергия миқдори көп бўлса, унда паст энергетик сатҳда жойлашган баъзи электронлар көшимча энергияни эгаллаган ҳолда юқори сатҳларга сөтади, яъни валент зонада төпланган электронларнинг бир қисми сөтказувчанлик зонасига сөтади. Бу ярим

сѣтказгич ичида кѣчиб юриб, жойлаша оладиган эркин электронларнинг пайдо бѣелишига олиб келади. Бунда валент электронлар зонасининг бѣешатилган жойларида мусбат зарядланган коваклар пайдо бѣелади. Коваклар ва эркин электронлар яримсѣтказгичда токнинг ташувчилари хисобланади. Ярим сѣтказгичдаги эркин электронлар кристалл панжара тугунлари ѳки бошқа электронлар билан тѣкнашиб, валент электронлар зонасига «қайтиб тушади» ва «электрон-ковак» жуфтлиги йсѣколади.

Агар паст энергетик сатҳга ѳки валент электронлар зонасига «қайтиб тушиш» тѣкнашувсиз юз берса, ундай ҳолатларда электронлар томонидан йсѣкотилган энергия фотон кѣринишда ажралиб чиқади. Нурланишнинг бундай жараѳни спонтан нурланиш деб номланади.

f частота E энергетик сатҳларнинг фарқи ($E_c - E_v$ га тенг), яъни таъқиқланган энергетик зона кенглиги билан аниқланади:

$$f = C/\lambda = E_q/h, \quad (4.1)$$

бу ерда C -ѳру $\frac{1}{2}$ лик тезлиги, $c = 3 \times 10^8$ м/сек;

λ -тѣлқин узунлиги, мкм;

E_q -тақиқланган зона кенглиги;

h - Планк доимийси, $h = 6,626 \times 10^{-34}$ Дж.сек.

Бу формула Борнинг частота шарти дейилади. Ёру $\frac{1}{2}$ лик жадаллиги «электрон-ковак» жуфтликлари сонига бо $\frac{1}{2}$ лиқ.

Спонтан оптик нурланиш ҳар қандай электроннинг бир энергетик сатҳдан бошқасига сѣтишидан пайдо бѣелади. Лекин ҳамма электронларнинг сѣтиш вақти бир-бирига мос келмаганлиги учун нурланишнинг устма-уст тушиши юз беради ва амплитудаси, фазалари ҳар хил бѣелган оптик тѣлқинлар пайдо бѣелади. Бунинг натижасида эса частота бѣейича ҳам бир турда эмаслиқ кузатилади. Бундан ташқари, E_q энергиясининг энг кичик тебранишлари шундай даражада бѣелмаса ҳам, нурланишни частотавий ѳйилиб кетишига таъсир қилади.

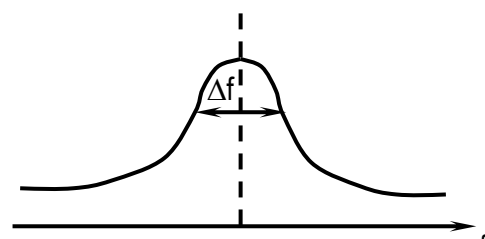
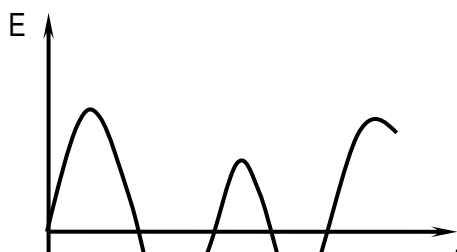
Шундай қилиб, оптик нурланиш электрон майдонининг кучланганлиги вақт бѣейича қуйидаги қонун бѣейича сѣзгаради (4.2, а-расм):

$$E(t) = (A + a(t) \sin [2 \pi f t + \varphi(t)]), \quad (4.2)$$

бу ерда $a(t)$ -амплитуда тебраниши (амплитуда модуляцияси шовқинлари),

$\varphi(t)$ -частота тебраниши (частота модуляцияси шовқинлари).

Ушбу нурланишни спектри 4.2 б-расмда кѣрсатилган [4].

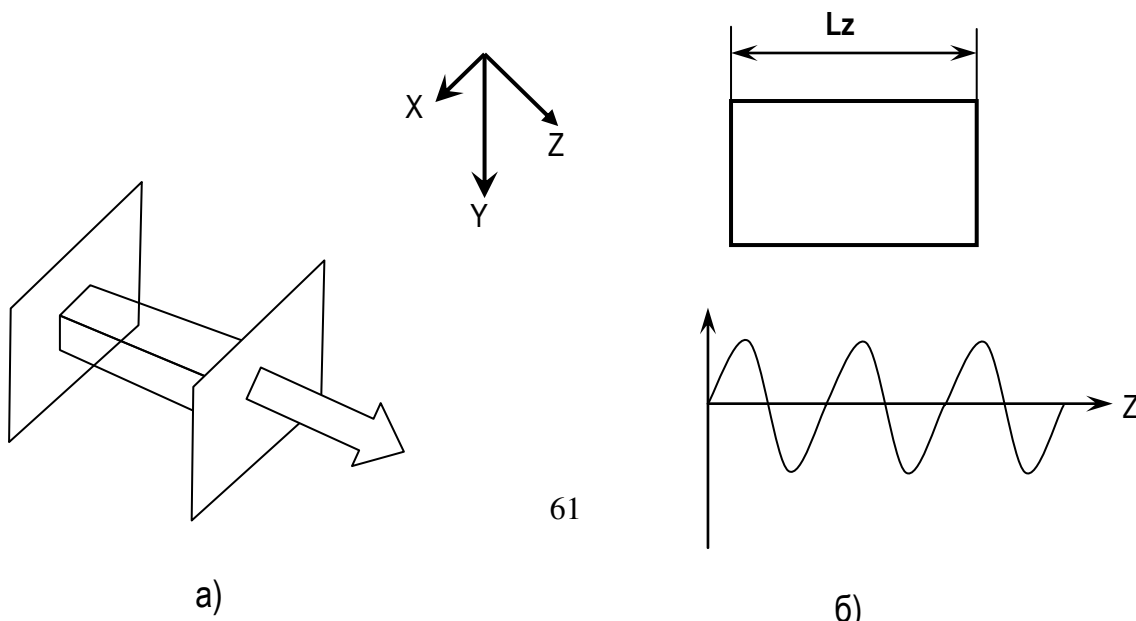


4.2-расм. Нокогерент ёру^{1/2}лик тасқинларининг тавсифлари:
 а-электр майдон кучланганлигининг вақт бўйича сизгариши;
 б-нурланиш спектри

Агар ҳамма тебранишлар синфаз синусоидлардан иборат ва частота о^{1/2}ишлари йсеқ бўлганда эди, спектр f частотали ягона линиядан ташкил топган бўлар эди. Мо домики, юқорида айтиб сөтилган ҳолатда частота титрашларига эга бўлинганлиги учун спектр бу титрашлар билан аниқланувчи Δf кенгликни эгаллайди. Спектр кенглиги нурланиш манбаининг монохроматиклигини тавсифловчи параметр сифатида қолланилади. Спонтан нурланиш кам монохроматикликка эга бўлгани учун у нокогерент ёру^{1/2}лик дейилади. Спонтан нурланишли нокогерент манбаларга ёру^{1/2}лик нурлантирувчи диодлар (ЁНД) мисол бўлади.

Юқорида айтиб сөтилганлардан фарқли равишда синфаз оптик тасқинларни нурлантирувчи манбаларга ёру^{1/2}ликнинг когерент манбалари дейилади. Уларнинг иши асосини ҳажмли резонатор билан эгалланган, ярим сөтказгичнинг спонтан нурланиши ташкил этади. Фабри-Перо резонаторлари кенг тарқалган бўлиб, Z осига перпендикуляр сөрнатилган иккита ойнадан иборат (4.3, а-расм) [4]. Ойна мусбат тескари алоқа ролини бажаради. Ушбу конструкция Z осига бўйлаб нурларнинг тарқалишига тасқинлик қилади. Шу тарзда бўйлама модалар сони камаяди.

4.3 б-расмда Z осига бўйлаб электр майдониинг тақсимланиши ксөрсатилган[4].

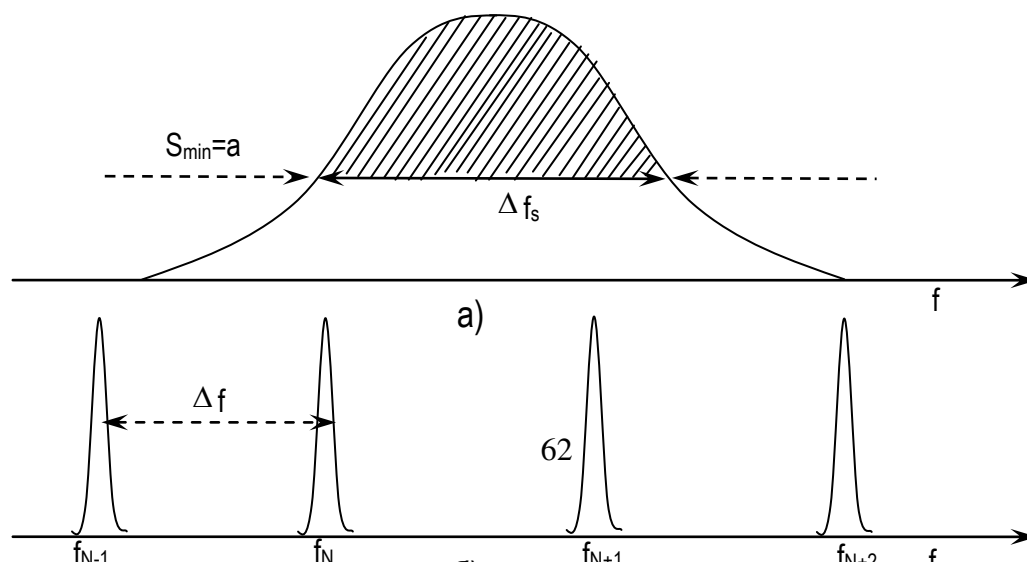


4.3-расм. Фабри-Перо резонаторининг умумий тузилиши
(а) ва Z оқи бөйлаб электр майдонининг тақсимланиши (б)

Резонаторнинг мавжудлиги синфаз оптик тўлқинлар юзага келиш шароитини яратади. Натижада нурланиш спектри дискрет ёки когерент бўлади. Квант механикаси қонунларига кўра, мусбат тескари алоқага эга резонаторларнинг бундай тузилишида нафақат спонтан нурланиш, балки индукцияланган (мажбурий) нурланиш деб ном олган жараён ҳам юз беради. Индукцияланган нурланишнинг моҳияти шундаки, агар ўтказувчанлик зонасида жойлашган электронга 4.1- формуладан аниқланадиган f частотасига тахминан тенг бўлган f_0 частотали ёру $^{1/2}$ лик тушса, f_0 частотали ва тушаётган ёру $^{1/2}$ лик йўналишидаги нурланиш пайдо бўлади. Шу усулда спонтан нурланишга индукцияланган нурланиш қўшилади. Ойналар орасида ҳосил бўлган индукцияланган нурланиш ҳар бир ўтишда у ярим ўтказгич муҳити билан кучайтирилади. Чунки янгидан-янги индукцияланган нурланишли ташувчилар рекомбинациясини чақиради.

Агар бундай тузилишда умумий йўқотишлар кучайишларга қараганда камроқ бўлса, унда мажбурий нурланиш генерациясининг юзага келиши билан тавсифланувчи лазер эффекти ҳосил бўлади. Мусбат тескари алоқани таъминловчи ойналарни олиб ташлаш билан генерация тўхтайди, лекин спонтан нурланиш аввалгидек давом этиши мумкин. Спонтан ва индукцияланган (мажбурий) нурланиш принциплари ЛД-лазер диодларда ишлатилади.

Мажбурий ёки индукцияланган нурланиш нурланадиган бўйлама модалар сонини камайтиради. Буни мисолда кўриб чиқамиз. Лазерда генерация спонтан нурланиш тури сифатида пайдо бўлгани учун лазерни нурланиш қуввати ва унинг частотаси спонтан нурланиш спектрига бо $^{1/2}$ лик бўлади. 4.4-расмда бўйлама модаларни спонтан (а), когерент (б) нурланишларининг спектрлари ва лазер генерацияси спектри кўрсатилган[4].



4.4-расм. Лазер тебранишларининг спектри

- а) спонтан нурланиш спектри
- б) когерент нурланиш спектри
- в) лазер генерацияси спектри

Лазерда тебранишларнинг қозғалыш даражасини акс эттирувчи спонтан нурланиш спектрини бу тебранишларнинг кучайиш тавсифи (кучайиш спектри) деб ҳисоблаш мумкин.

Лазерда тебранишларни ҳосил қилиш учун резонатордаги йўқотишларни компенсация қилиш ва оптик нурланишни кучайтириш учун керакли бўлган энергияни ташқи манбадан нурлантирувчи муҳитга бериш керак. Генерация учун керак бўлган минимал кучайиш коэффициенти $S_{\min}$ ёки чегаравий кучайиш коэффициенти деб аталувчи йўқотишлар a ни мувозанатловчи қуйидагича ифодаланади:

$$S_{\min}=a .$$

Бунда лазер генерацияси резонаторнинг бўйлама модаларининг f_N частотаси пайдо бўлади. f_N частота Δf соҳага киради. Шу тариқа, генерация бир ёки бир неча бўйлама модаларда бир вақтда юзага келиши мумкин. Бизни мисолимизда генерация икки модада (f_1 ; f_2) ҳосил бўлган[4].

4.3. Ёруғлик нурлантирувчи диодлар, уларнинг турлари ва тавсифлари

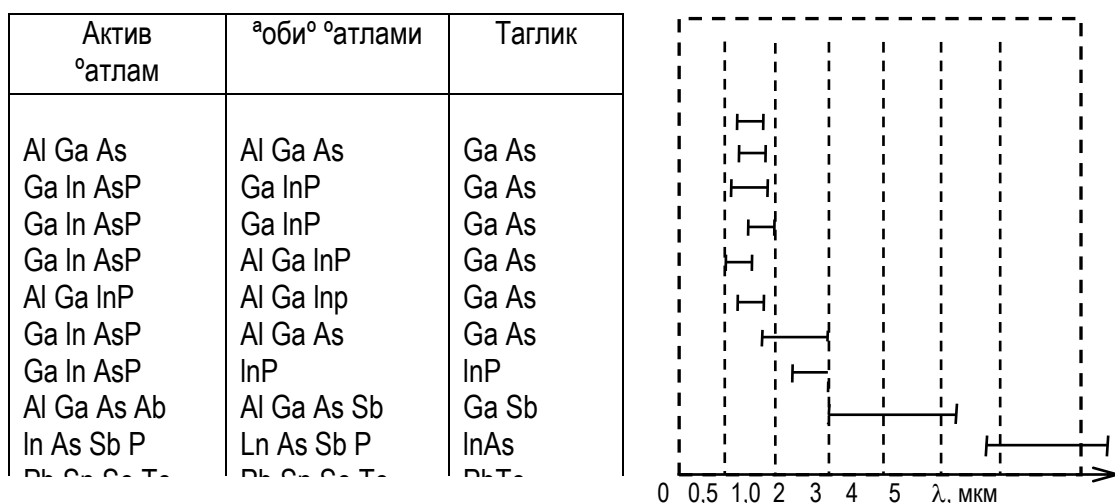
Юқорида қайд этилганидек, ёруғлик диодлари нокогерент оптик нурланишга мисол бўла олади. Бундай манбаларнинг асоси бўлиб, тоғри сетишли ярим сўтказгич хизмат қилади (GaAs ва бошқалар). Унда сўтказувчанлик зонасидаги электронлар кристалл панжара тугунлари билан тўқнашмайди, яъни энергия миқдорини сақлаб валент электронлар зонасига

сетади ва коваклар билан қайтадан бо¹/₂ланади. Бундай сетишда спонтан нурланиш вужудга келади.

GaAs ва бошқа бирикмалар асосидаги икки ёки ундан ортиқ элементлардан ташкил топган ярим сётказгичлар кўпинча тое¹/₂ри сетишли ярим сётказгичлар ҳисобланади ва ёру¹/₂лик осон нурлантирилади. Агар 3-4 турдаги элементлардан фойдаланилса (аралашма ярим сётказгичлар), компонентларнинг сазаро нисбатига мос ҳолда таъқиқланган зона E_q энергияси сазгаради. Бу билан турли тёлқин узунликларини нурлантирувчи манбаларни яратишга имкон ту¹/₂илади. Компонентларнинг сазаро нисбатининг сазгаришидан синдириш коэффиценти ҳам сазгаради. 4.1-жадвалда кимёвий бирикмалар асосида олинган ярим сётказгичларнинг бир неча турлари берилган ва уларнинг оптик нурланиш диапазони кўрсатилган [4].

4.1-жадвал

**Турли кимёвий бирикмалар
асосидаги ярим сётказгич лазерларнинг нурланиш
соҳалари**



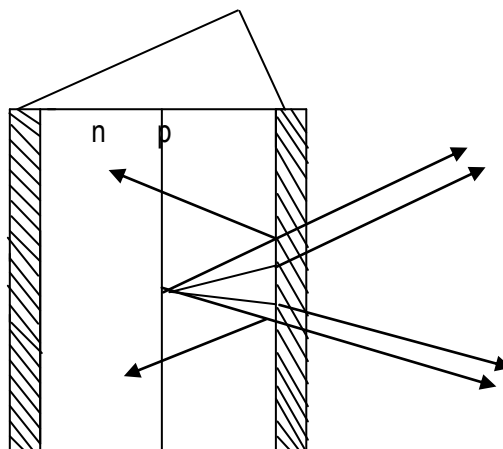
Al, In, P ва Sb қўшимчаларга эга GaAs кристалларидан ташкил топган уч элементли кимёвий бирикмалар кенг тарқалган. Улар қуйидагича тасвирланиши мумкин:



бу ерда x – компонент қисм (моляр масса).

Кўрсатилиб сўтилган бирикмалар $\lambda < 1$ мкм ёру¹/₂ликни нурлантиради. Агар InP асосида тўрт валентли кимёвий бирикма, масалан $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{P}_{1-y}$ тайёрланса, x ва y қисмлари нисбатидан келиб чиққан ҳолда нурланиш 1,0 дан 1,6 мкм тёлқин узунлиги орали¹/₂ида сазгаради.

р-п өтишли оддий ёру^{1/2}лик диодининг ишлаш принципини ксриб
чиқамиз (4.5-расм) [4].



4.5-расм. р-п өтишли ёру^{1/2}лик нурлантирувчи диод

Мувозанат ҳолатига қараганда, электрон ва коваклар концентрацияси юқори бўлганда нурланиш ҳосил бўлади. Бу ҳолатнинг қсз^{1/2}алиши юқори ссказувчанлик йсналишида р-п өтиш орқали ташувчилар инжекцияси билан таъминланади.

п-соҳадан р-соҳага электронлар инжекциясида нурланишнинг юқори самарадорлигини таъминлаш мақсадида п-соҳани юқори легирлаш билан ва р ҳамда п соҳалари хусусиятлари ўзгаргунча легирланган.

Инжекцияланган электронларнинг фақат маълум қисмигина нурланиб рекомбинацияланади. Қолганлари нурланишсиз рекомбинацияларда йсқолади. Спонтан нурланиш бевосита өтиш йселида ҳамма йсналишлар бўйлаб р-соҳага боради. Бироқ р-соҳада нурланишнинг маълум қисмигина ишлатилади, устки юзада эса тушиш бурчагига бо^{1/2}лик ҳолда қисман ёки тселиқ акс этади. р-п өтишли турли материаллардан тузилган бундай ярим ссказгичлар гетеротузилиш ёки гетерөсөтиш дейилади.

Нурланиш жадаллиги кучсиз ҳолда узатиш бурчаги Θ га бо^{1/2}лик ва Ламберт қонуни орқали аниқланади:

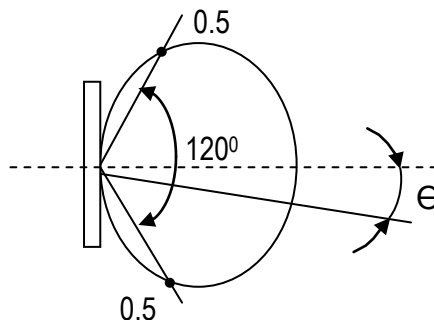
$$J(\Theta) = J_0 \cos \Theta ,$$

бу ерда J -нурлантирувчи юзага нормал йсналишдаги нурланиш жадаллиги.

Яъни бундай нурлантирувчи деярли йсналишга эга эмас. Уни йсналиш диаграммаси кенглиги

$$\Delta F(\Theta) = J(\Theta) / J_0 ,$$

нормал орқали юзага сөтүвчи, камма юза текислигида қувват ярим сатки бөйича, 120° ни ташкил этади (4.6-расм)[4].



4.6-расм. Ёруғлик диодининг йсөналиш диаграммаси

Бундай манба учун тселиқ нурланиш қуввати P_o $J(\Theta)$ дан интеграл орқали аниқланади:

$$P_o = \pi J_o /$$

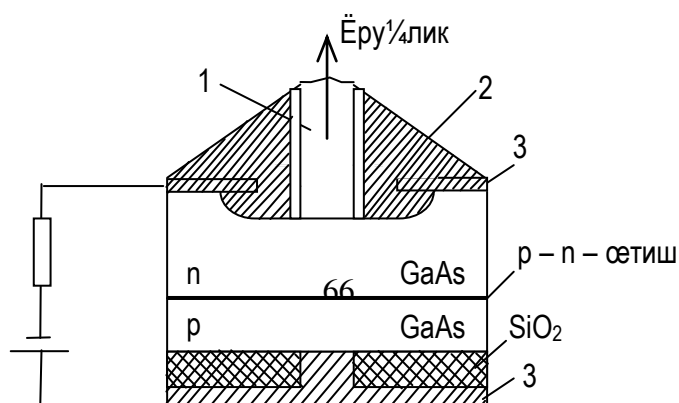
Бунда оптик толага киритиш мумкин бсөлган максимал қувват P_c , сонли апертурадан аниқланади ва қуйидаги формула билан ҳисобланади:

$$P_c = \pi J_o (NA)^2 = P_o (NA)^2. \quad (4.3)$$

(4.3)-формуладан ксөриниб турибдики, ёру $^{1/2}$ лик нурлантирувчи диодлар (ЁНД)дан оптик толага киритиладиган қувват, унинг сонли апертураси квадратига пропорционал. NA қиймати 0,15...0,24 оралиқ танланади. Агар $NA=0,2$ га тенг бсөлса, унда толага киритиш самарадорлиги 4% дан ошмайди, бу қувватнинг 14 дБга йсөқотилишига мос келади.

Шу тариқа ЁНДдан фойдаланиш нурланишни толага самарали киритиш муаммосини юзага келтиради. Бу муаммо нурланишни толага киритишнинг юқори коэффицентини таъминловчи махсус ёру $^{1/2}$ лик диодларини қайта ишлаш, шунингдек микролинзаларни қсөллаш ёрдамида ҳал қилинади.

ЁНДнинг асосий икки тури мавжуд: нурлантирувчи юзали ЁНД ва нурлантирувчи кесимли ЁНДлари. Нурлантирувчи юзали ЁНД тузилиши 4.7-расмда ксөрсатилган [4].



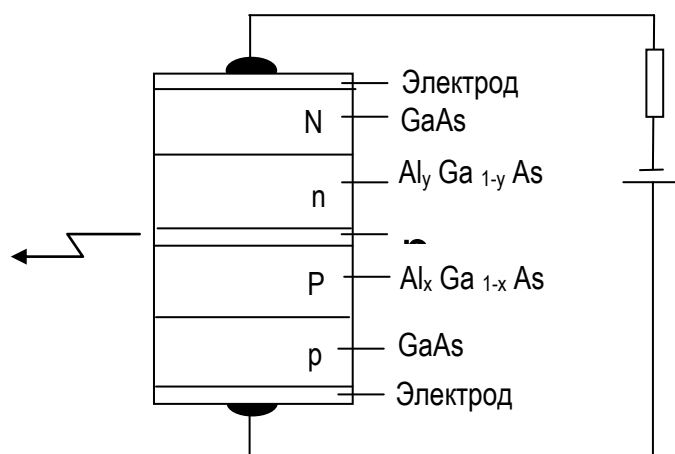
4.7-расм. Нурлантирувчи юзали ЁНД тузилиши

- 1-оптик тола;
- 2-ёпиштирувчи таркиб;
- 3-электрод

Оптик тола билан физик мослашув ва ёру^{1/2}ликнинг кучли ютилиши олдини олиш учун GaAs ли соҳага чуқурча сейилади. Нурлантирувчи сохани селчамлари металл контакт селчамлари билан аниқланади ва оптик тола диаметрига мос равишда танланади. Нурни оптик толага киритишдаги йёқотишлар мослаштирувчи қурилма қўлланилмаган ҳолда толани NA сонли апертурасига бо^{1/2}лик бўлади ва 14...20 дБ ни ташкил этади. Мослаштирувчи қурилмаларни қўллаш бу йёқотишларни камайтиришга имкон беради.

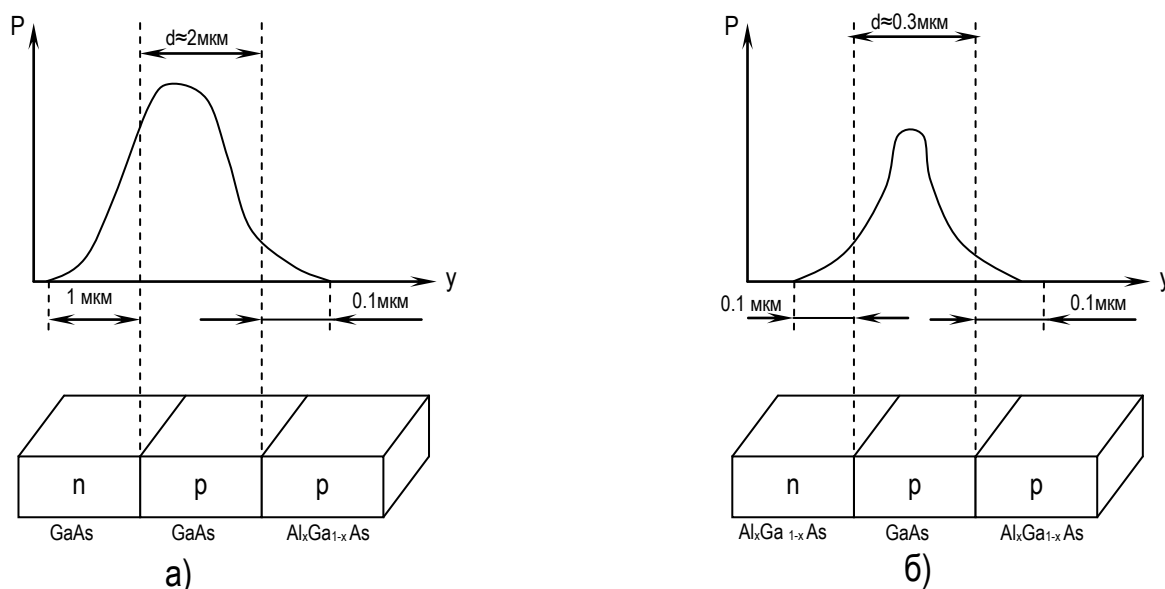
Нурлантирувчи кесимли ЁНД тузилиши 4.8-расмда кўрсатилган. Нурлантирувчи кесимли ЁНДларда иккиталик гетеротузилиш ишлатилади. 4.9 а ва б расмларда мос равишда бир томонлама чегарали гетеротузилиш БГТ ва икки томонлама чегарали гетеротузилиш ИГТ кўрсатилган. БГТли ЁНДларда то^{1/2}ри силжитиш таъсирида электронлар р-п ёетиш орқали инжекцияланади, ссёнг р(GaAs)-р(Al_xGa_{1-x}As) ёетишни потенциал баръери билан тутиб қолинади.

Нурланиш рекомбинацияси кўпинча d қалинликли актив соҳада рёй беради. 2осил бўлган нурланиш тузилиш қатламларини турли синдириш кўрсаткичларидан ташкил топган тўелқин сётказгичда тарқалади.



4.8-расм. Нурлантирувчи кесимли ЁНД тузилиши

ИГТ анча юкори хусусиятларга эга. Бундай тузилишда актив нурланиш рекомбинацияси (4.9 б-расм) сэнг ва чапдаги потенциал барьерлар эвазига р-соҳада (GaAs) кузатилади. 2-осил бөлган ясси симметрик тёлқин сётказгич нурланишни амалда d соҳа доирасида юзага келишига ёрдам беради[4].



4.9-расм. Бир (а) ва икки томонлама (б) чегарали гетеротузилишлар

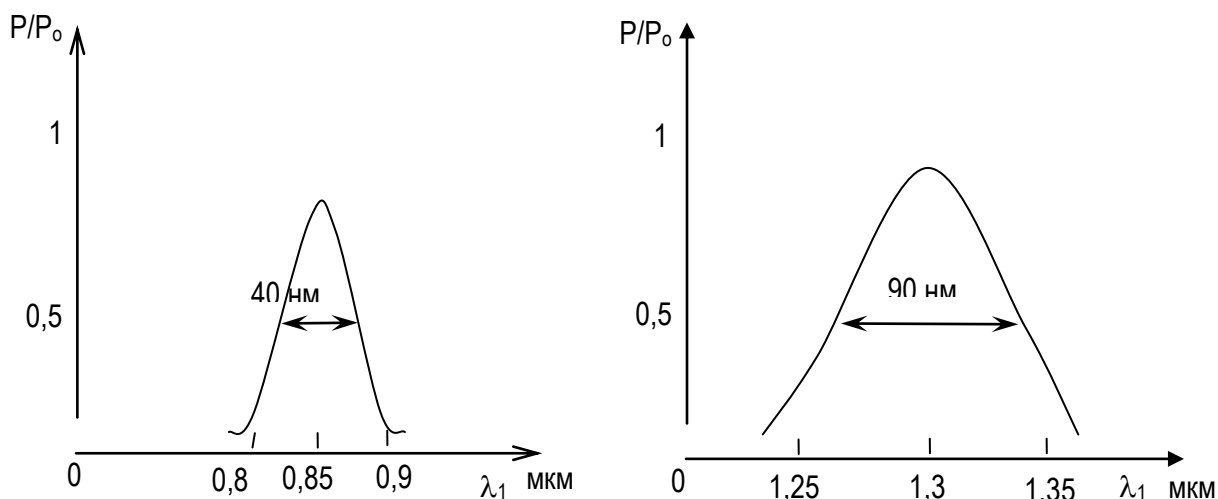
Нурлантирувчи кесимли БГТ ва ИГТларни ишлатиш нурланишни юзада тарқалишини камайтиради. Нормал р-п сетишда тахминан 30° гача камайтиради. Сетишга параллел юзада тёлқин сётказиш самараси бөлмаган ҳолда нурланиш манбалари Ламберт қонунларига бөйсунди ва йсеналиш диаграммаси $\Theta = 120^\circ$ кенглигича қолади. Нурлантирувчи юзали ЁНДларга нисбатан нурлантирувчи кесимли ЁНДларни нурланиш қуввати 2-5 марта кичик бөелади. Бироқ, нурлантирувчи кесимли ЁНДда тарқалиш бурчагини кичиклиги, яъни йсеналиш диаграммасини торлиги эвазига нурни оптик толага киритишда йсқотишлар кам бөелади ва NAга бо $\frac{1}{2}$ лиқ равишда 10...16 дБни ташкил этади.

ЁНДларнинг тавсифлари. Ёру $\frac{1}{2}$ лиқ диодларининг хусусиятлари уларни ишлатиш нуқтаи назаридан нурланишни тёлқин узунлиги λ , нурланиш спектрини кенглиги $\Delta\lambda$, нурланиш қуввати P , нурланиш қувватини йсеналиш диаграммаси Θ билан характерланади. Тузилиши ва ишлаб чиқарувчиларга бо $\frac{1}{2}$ лиқ ҳолда ЁНДларнинг нурланиш қуввати 0,01 ва 0,1 мВт оралиқда ётади.

4.10-расмда нурлантирувчи юзали ва нурлантирувчи кесимли ЁНДни нурланиш спектри берилган. Нурлантирувчи юзали ЁНДда $\lambda = 0,85$ мкм да

нурланиш спектри кенглиги $\Delta\lambda=40$ нм га, нурлантирувчи кесимли ЁНДда $\lambda=1,3$ мкм да нурланиш спектри кенглиги $\Delta\lambda=90$ нм га тенг.

ЁНДни энг муҳим параметрлари бу унинг ишончлилиги ва хизмат килиш муддатларидир. Ёру $\frac{1}{2}$ лик диодларидан узок вақт фойдаланиш натижасида нурланиш қуввати камаяди. ²арорат 10-20⁰ С га ошса, хизмат муддати икки баробар қисқаради. Алоқа тизимларида фойдаланиш учун хизмат муддати ер алоқа линиялари учун 10⁵ соатни ва сув ости алоқа линиялари учун 10⁶ соатни ташкил этиши керак.



4.10-расм. Нурлантирувчи юзали ва нурлантирувчи кесимли ЁНДни нурланиш спектрлари

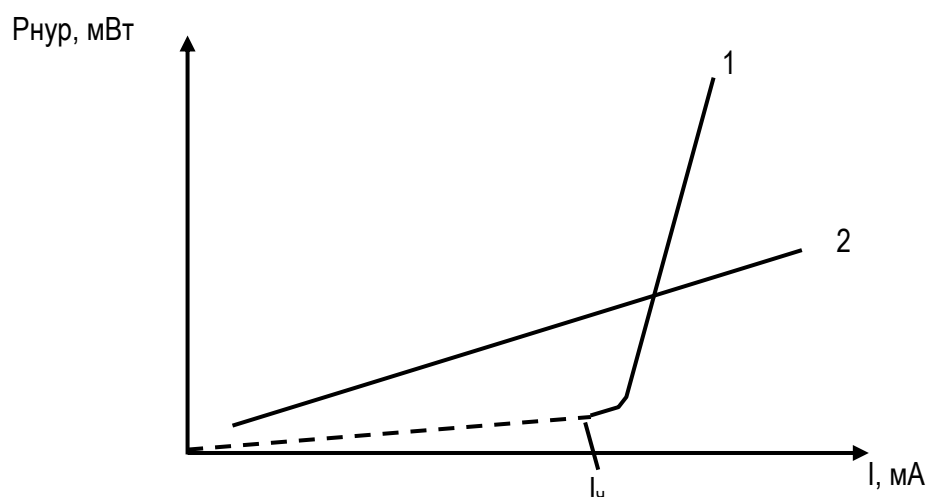
ЁНДлар учта тиниқлик ойналари 850, 1310 ва 1550 нм да ишлатиш учун ишлаб чиқарилади. Лекин, улар ксепроқ 850 ва 1310 нм да қселланилади. ЁНДларни ишлаб чиқариш лазер диодларига қараганда арзон.

Нурланиш спектрини кенглиги (60 нм гача), нурлантирувчи частота орали $\frac{1}{2}$ ини торлиги (100-200 МГц) ва тезкор эмаслиги ЁНДларни ОА тизимларида қселланилишини чегаралайди. ЁНДлар асосан паст тезликли тизимларда ахборотларни яқин масофага узатишда қселланилади.

4.4. Лазер диодлар

Лазер диодлар (ЛД) одатда узок масофали ва юқори тезликли (155 Мбит/с дан юқори) оптик тизимларида қселланилади. ЛДлар хизмат муддати, нурланиш қуввати ва уни ташқи инжекция токига бо $\frac{1}{2}$ лиқлиги, нурланишни йсеналиш диаграммаси Θ ва нурланиш спектри билан тавсифланади. ЛД ЁНДга қараганда ташқи инжекция токини катта қийматларида ишлайди. Ташқи инжекция токи I_u ошиб, чегаравий I_q қийматга етгач, генерация ёки лазер самараси юзага келади, яъни индукцияланган (мажбурий) нурланиш ҳосил бўелади. Бу нурланиш юқори когерент бўелгани учун, ЛДни нурланиш спектри кенглиги ЁНДга нисбатан

тор. ЛДни нурланиш спектри 1-2 нм, ЁНД ни нурланиш спектри эса 30-50 нм. Нурланиш қувватини ташқи инжекция токига бо¹/₂ликлигини ЛДни ватт-ампер характеристикасидан кўриш мумкин. 4.11-расмда ЛД ва ЁНДларни ватт-ампер характеристикалари кўрсатилган. Кичик ток қийматларида ЛДда кучсиз спонтан нурланиш юзага келади, у самарасиз ёру¹/₂лик диоди сифатида ишлайди. Юқорида айтиб отилгандек, ток қиймати чегаравий ток I_q қийматидан ошганда нурланиш қуввати $P_{нур}$ кескин ошиб, когерент мажбурий нурланиш ҳосил бўелади.



4.11-расм. Ватт-ампер характеристикалари:
1-лазер диоди учун; 2-ёру¹/₂лик диоди учун

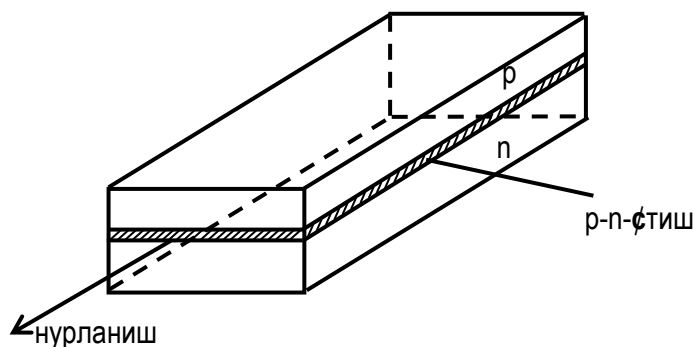
Магистрал ТОО линияларида асосан сигналлар 1,3 ва 1,55 мкм тоелқин узунликларида узатилади. 1,55 мкм тоелқин узунлигида сўениш қийматлари кичик бўелгани учун ретрансляциясиз ($L=100\text{км}$) узун участкаларда ана шу тоелқин узунликтаги оптик узатиш манбаларидан фойдаланиш самаралидир. Магистрал алоқа линиялари кабеллари бир модали толалардан иборат бўелгани учун ҳам ЛДдан фойдаланиш керак. Чунки ЁНДга қараганда ЛДнинг нурланишини йсөнелиш диаграммаси тор. Бу нурланишни толага киритишни осонлаштиради[1].

ЛДни бир неча турлари мавжуд:

- ксеп модали ёки Фабри-Перо резонаторли лазерлар;
- бир модали лазерлар;
- бир модали тақсимланган тескари алоқали (DFB) лазерлар;
- тақсимланган Брэгг акс этишли лазерлар;
- ташқи резонаторли лазерлар.

4.4.1. Ксеп модали ёки Фабри-Перо резонаторли лазерлар

GaAs ёки InP ярим оётказгич турларидан бири асосида тайёрланган, кристаллнинг икки қарама-қарши кёендаланг кесимиға перпендикуляр бўлган p-n ёетишли параллелепипед кёеринишидаги оддий ЛД тузилиши 4.12-расмда тасвирланган.

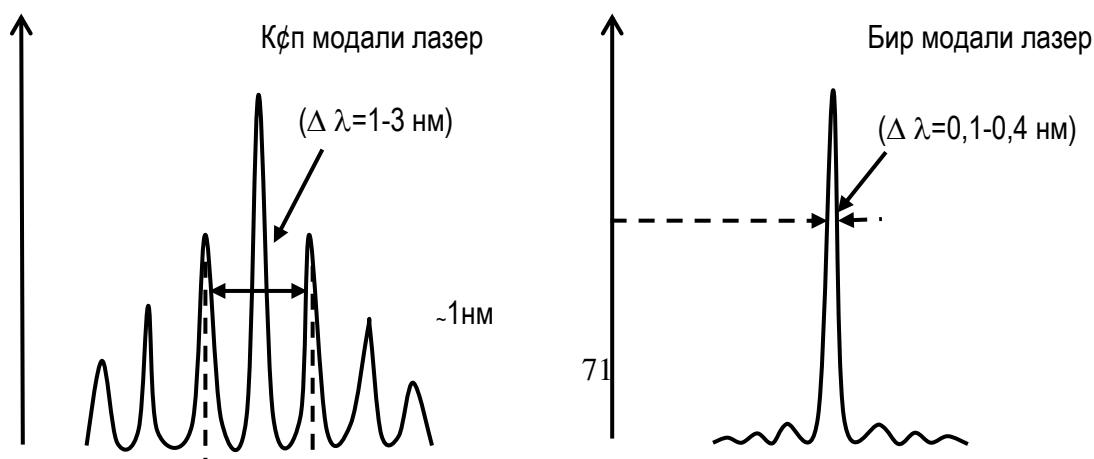


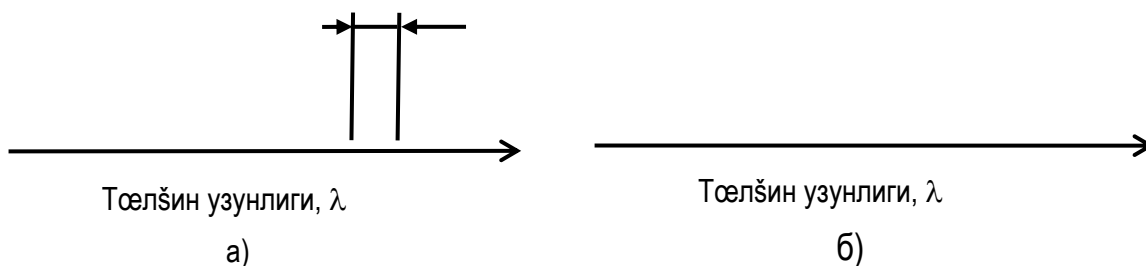
4.12-расм. p-n ёетишли, Фабри-Перо резонаторли лазер диоди

Акс ёттирувчи параллел, кёендаланг юзалар Фабри-Перо резонаторларини ташкил ётади. Ташувчилар рекомбинацияси ёетиш текислиги яқинида амалға ошади ва Фабри-Перо резонаторлари ҳисобига мусбат тескари алоқа ҳосил қилинади. Кёендаланг юзалардан акс ётиш хавонинг ва ярим оётказгичнинг n синдириш кёерсаткичларини фарқланиши билан тушунтирилади. Номакбул йёеналишларда генерация юзага келмаслиги учун нурлантирмайдиган юзаларнинг $\frac{1}{2}$ адир-будирлиги таъминланиб, уларнинг да $\frac{1}{2}$ аллашувига ёришилади [4].

Фабри-Перо резонаторли ЛДлар кёеп модали лазерлар ҳам дейилади. Чунки улар бир неча модаларни нурлантиради(4.13,а-расм).

4.13,а-расмдаги катта амплитудали мода – бу тёёлқин узунлигининг асосий модаси, кичик амплитудали модалар – ёён модалари ҳисобланади. Ёён модалар ораси тахминан 1 нм га тенг. Лазер нурланиш модуляциясида нафақат асосий мода, шунингдек ёён модалар ҳам модуляцияланади. Бундай лазерларда оптик нурланишнинг тёёлиқ спектр кенглигини ярми 4-5 нм га тенг [6].





4.13-расм. Лазер диодларни нурланиш спектрлари:

- а) көп модали ЛД нурланиш спектри;
- б) бир модали ЛД нурланиш спектри.

Спектрни кенглиги дисперсияни ошишига олиб келади. Фабри-Перо резонаторли, көп модали лазерлар жуда юқори техник тавсифларга эга эмас. Лекин тузилиши содда бўлгани учун нарх-самарадорлик нуқтаи назаридан, бундай лазерлар жуда юқори тезликлар талаб этилмайдиган ОА тизимларида қўлланилади.

Айтиб ўтиш жоизки, бир модали нурланиш режимида бўлиб, $\Delta\lambda$ кичик бўлса ҳам узатиш тезлиги ошиши билан Фабри-Перо резонаторли ЛД модаларида қувватни қайтатдан тақсимланиши кузатилади [1]. Бунда ҳар бир алоҳида модани қуввати сезиларли даражада сўзгариши мумкин. Лазер сигнали тола бўйлаб узатилганда, төлқин узунлигига бо'лиқ бўлган гуруҳли кечикиш (хроматик дисперсия)ни ҳисобга олсак, модалар бўйлаб қувватни тақсимланиши чиқишда шовқин сатҳини ошишига [6] ва $\Delta\lambda$ спектрни динамик кенгайишига (1-2 ГГц частота модуляциясида 10 нм гача) [1] олиб келади. Юқори тезликли тизимларида бу секция узунлигини чегараловчи асосий омил бўлиши мумкин [6].

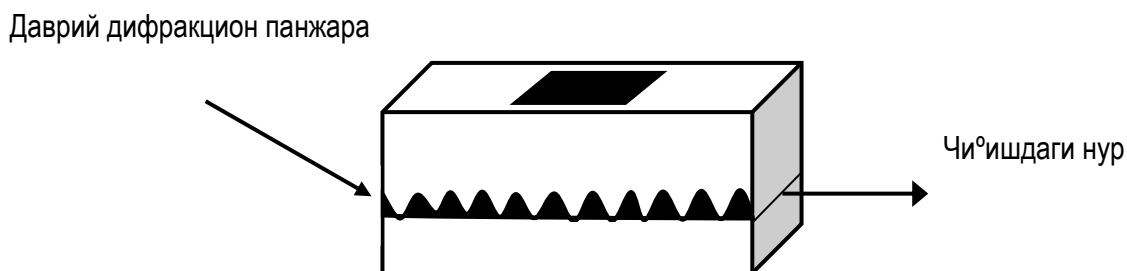
Оптик резонаторларни ташкил қилиш усули билан фарқланувчи, маълум даражада оддий Фабри-Перо резонаторларининг такомиллашуви ҳисобланган бошқа мукамал ЛДларда бу камчиликлар мавжуд эмас [1].

4.4.2. Бир модали лазерлар

Юқорида айтиб ўтилганидек, көп модали лазерларда нурланиш спектрини кенглиги дисперсия қийматини ошишига олиб келади. Бу камчиликни бартараф этиш учун бир модали лазерлардан фойдаланиш талаб этилади. Бир модали лазерларда модани сўзини нурланиш спектри тор бўлиб, $\Delta\lambda=0,1-0,4$ нм ни ташкил этади (4.13,б-расм). Бундан ташқари, агар бир модали лазер тө'лиқри созланган бўлса, унда биринчи ён мода асосий модадан жуда бўлмаганда 30 дБ га паст бўлиши мумкин [6].

4.4.3. Тақсимланган тескари алоқали ярим сўтказгич лазерлар

Тақсимланган тескари алоқали ярим оғтаказгич лазерлар Фабри-Перо ясси резонаторининг такомиллашган тури бўлиб, уларни икки қатлами оғтасида (одатда $n\text{-InP}$ ва $n\text{-InGaAsP}$ қатламлари оғтасида) даврий дифракцион панжара жойлашган бўлади (4.14-расм). Бу билан синдириш кўрсаткичларини даврий бир турда эмаслиги ҳосил қилинади, бу эса тўлқин тарқаладиган актив соҳа қалинлигини даврий оғзғаришига олиб келади.



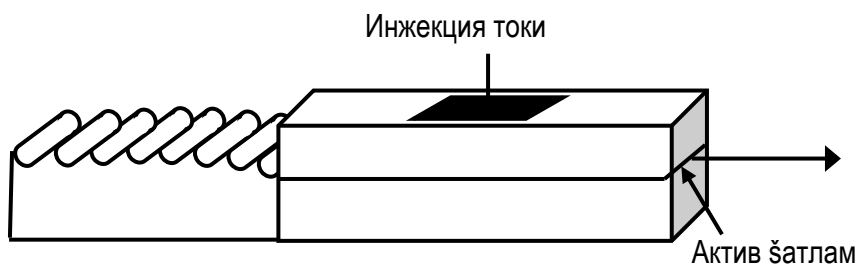
4.14-расм. Тақсимланган тескари алоқали ярим оғтаказгич лазер

Тескари алоқа резонаторлар юзаси узунлиги бўйича тақсимланган бўлади. Бу турдаги лазерларни тузилиши тескари алоқа механизми эвазига тўлқин узунлигини танлаш имконини яратади. Дифракцион панжара қадами билан аниқланадиган, қайд этилган тўлқин узунликларидagina тескари алоқа ҳосил бўлади, яъни фақатгина панжара давридан қисқа бўлган тўлқин узунликлар қолади [4]. Бу билан резонаторларда қўзғаладиган модалар сони камаяди ва фақатгина юқори қувватли, қисқа спектрли асосий модали сигналнигина узатишга имконият яратилади.

Дифракцион панжара диод ичида жойлашган бу турдаги лазерларни ишлаб чиқариш технологияси мураккабдир.

4.4.4. Тақсимланган брэгг акс этишли лазерлар

Тақсимланган брэгг акс этишли лазерларда дифракцион панжара актив соҳадан ташқарида жойлаштирилади (4.15-расм) [1].

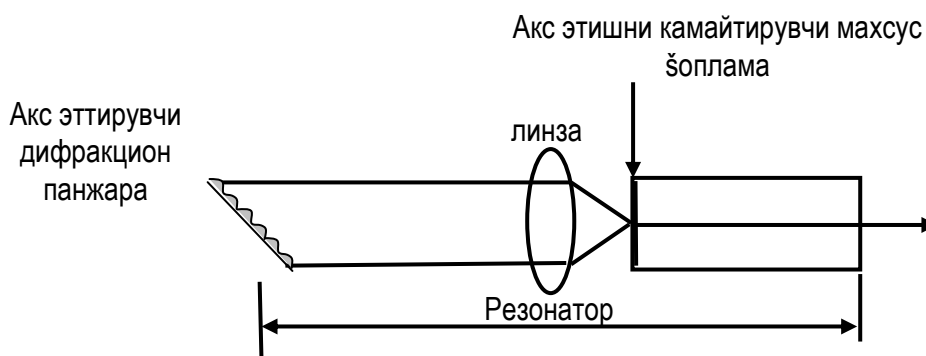


4.15–расм. Таксимланган брэгг акс этишли лазер

Таксимланган тескари алоқали ярим сётказгич лазерларга нисбатан бундай лазерларда ягона асосий модани генерацияси одатий холдир. Бундай тузилишли лазерларда хаттоки юқори тезликли модуляцияда ҳам модаларни бирдан сёзгариши кузатилмайди, аксинча фақатгина битта асосий мода ҳосил бўелади. Бу эса таксимланган брэгг акс этишли лазерларни бир модали оптик толаларда ва каналлари спектр бўёйича зичлаштирилган узатиш тизимларда нурланиш манбаи сифатида ишлатилишига қулайлик яратади [4].

4.4.5. Ташқи резонаторли лазерлар

Ташқи резонаторли лазерларда бир ёки иккала коендаланг ёни акс эттиришни камайтирувчи, махсус қатлам билан қопланади ва мос равишда ярим сётказгич актив соҳасини атрофида битта ёки иккита ойна қўйилади. 4.16-расмда битта ташқи резонаторли лазер кўрсатилган.



4.16–расм. Битта ташқи резонаторли лазер

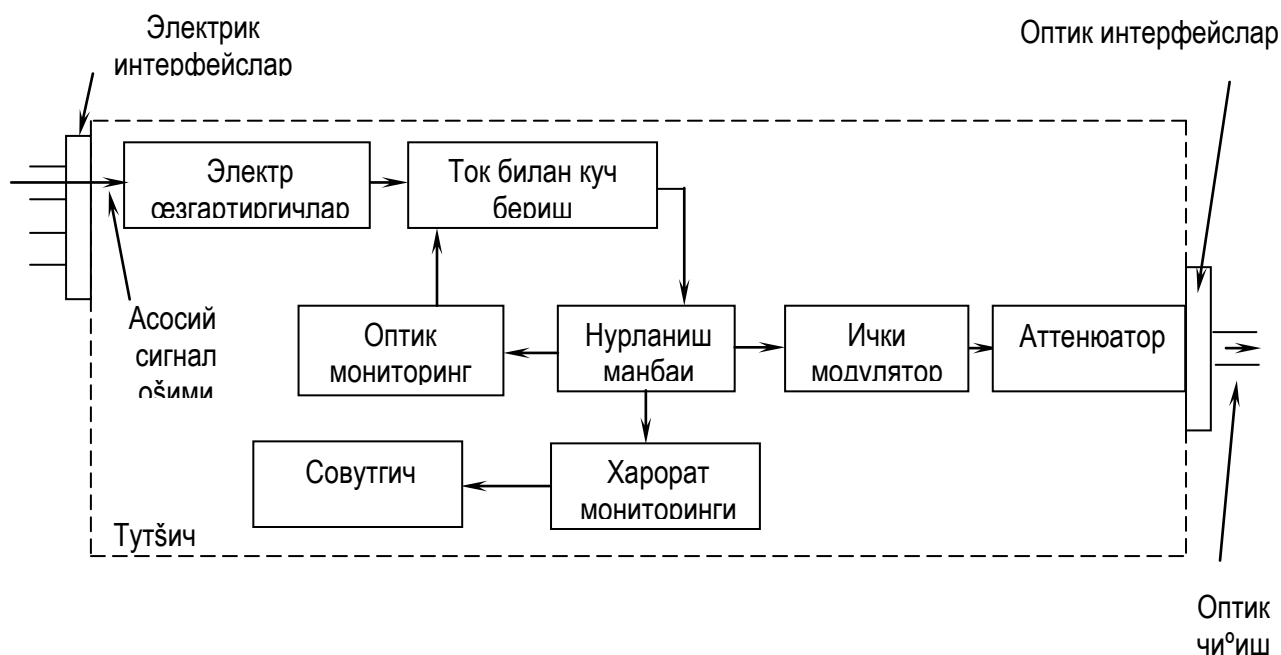
Акс этишни камайтирувчи қоплама акс этиш коэффициентини тахминан тўрт тартибга камайтиради, актив қатламни бошқа коендаланг ёни эса 30% гача ёру¹/₂лик оқимини акс эттиради. Акс эттирувчи дифракцион панжара ойна ва дифракцион панжарадан ташкил топган.

Ойна дифракцион панжара вазифасини тўлдиради. Ойна ва актив элемент сўртасида тескари алоқани яхшилаш учун линза сўрнатилади.

Акс эттирувчи дифракцион панжарагача бўлган масофани ошириб ёки камайтириб, шунингдек панжарани буриш ҳисобига панжара қадамини сўзгартириш орқали нурланиш тўлқин узунлигини бир текисда сўзгартириш мумкин. Шунинг учун бундай лазерлар созланувчан лазерлар дейилади. Бу лазерларда тўлқин узунлигини 30 нм ораликгача сўзгартириш мумкин. Ташқи резонаторли лазерлар спектр бўёйича зичлаштириш аппаратураларини ва ТООА учун сўлчов қурилмаларини яратишда жуда керакли ҳисобланади [1].

4.5. Оптик сигнални узатувчи модулар

Оптик сигнални узатишни ташкил қилиш учун фақатгина нурланиш манбасининг сёзи етарли эмас. Оптик узатувчи модулар (ОУЗМ)ни асосий таркибий элементлари бу нурланиш манбаи, ток билан куч бериш занжири, ҳароратни назорат қилиш тизимлари, шунингдек электрик интерфейслар тугуни ва тола билан мослашиш жойи ҳисобланади. Баъзан тола билан оптимал боʻланиш учун қёшимча ички элементлар (аттенюаторлар) талаб этилади. Совутгич ва ҳарорат мониторинги ОУЗМ ички ҳароратини стабил ушлаб туради. Мураккаб лазерли тизимлар учун оптик сигнални чиқиш мониторинги қёшилади. ОУЗМни умумий тузилиш схемаси 4.17-расмда кёрсатилган [1].



4.17-расм. Оптик сигнални узатувчи модул таркибидаги элементлар

5. ОПТИК СИГНАЛНИ ФОТО ҚАБУЛ ҚИЛГИЧЛАРИ

5.1. Фото қабул қилгичлар

Кириш оптик сигналларни электр сигналларига айлантириш учун фото қабул қилгичлар қёлланилади. Сёнг бу сигналлар фото қабул қилгични электр қурилмаларида кучайтирилади ва қайта ишланади. Бу мақсадлар учун қёлланиладиган фото қабул қилгичлар талаб этиладиган полоса кенглигига, динамик диапазонга, сезувчанликка, тола билан пухта боʻланиш учун етарли селчамга эга бўелиши, ташқи муҳит сёзгаришларига сезгир бўелмаслиги, хизмат муддати эса юкори бўелиши керак. Бу талабларга ярим сётказгич фотодиодлар (ФД) тёликрок жавоб беради.

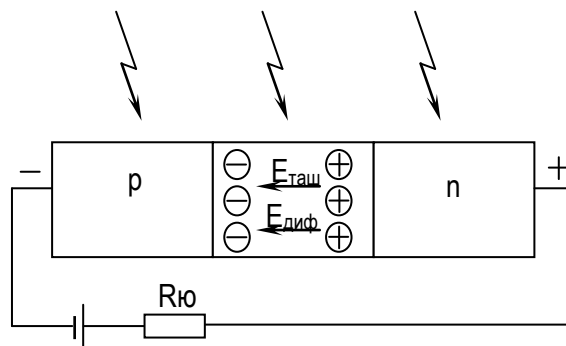
Ярим сётказгич ФД иши ички фотоэффектга асосланган бўелиб, бунда ёруʻлик фотонини ютилишидан янги заряд ташувчи жуфтликлари-электрон ва коваклар ҳосил бўелади. Яъни фотон атом бўелиб ютилиб, электронларни

көз^{1/2}атади ва электронларни валентлик зонасидан оетказувчанлик зонасига (шахсий ютилиш) ёки аралашмали сатҳдан оетказувчанлик зонасига (аралашмали ютилиш) оетказади. Бу оетишлар электр сигналларни шаклланишига шароит яратиб, ярим оетказгичнинг электрик характеристикаларини оозгартиради. Юқори тезкорлик ва тушаётган нурни самарали ютилиши аралашмали ютилиш самараси билан бојлиқ. Шу сабабли хозирда ОА тизимлари учун фотодиодлар аралашмали материаллар асосида тайёрланади.

Агар аралашма материалли р- ва n-турдаги ярим оетказгичлар бирлаштирилса, электрон ва коваклар концентрациясининг ҳар хиллиги туфайли электронлар диффузияси р-турдаги ярим оетказгичда, коваклар диффузияси эса n-турдаги ярим оетказгичда юз беради. Натижада р-ярим оетказгич томонидаги контакт яқинидаги соҳа манфий зарядланади, n-ярим оетказгич томонидаги соҳа эса мусбат зарядланади. Бунда контакт майдон вужудга келиб, у асосий бөлмаган ташувчиларнинг келгуси диффузиясини тоехтатади, контакт оернида ташувчилар бирлашган соҳа ҳосил бөелади. Ярим оетказгичларга (5.1-расм) тескари силжишли кучланиш берилганда бирлашган соҳада контакт диффузион майдон $E_{\text{диф}}$ йўналишига мос келадиган кучли ташқи электр майдон $E_{\text{таш}}$ ҳосил бөелади[4].

Тескари силжишли р-n-оетишга P қувватли ва f частотали ёру^{1/2}лик оқими таъсир қилишини ксериб чиқамиз. Ёру^{1/2}лик оқимлари тушганда, $h \cdot f$ энергияли фотонлар уч ҳолатда ютилиб, электрон-ковак жуфтлигини ҳосил қилиши мумкин:

1. бирлашган соҳада ютилиш;
2. р-соҳада ютилиш;
3. n-соҳада ютилиш.



5.1-расм. Ярим ўтказгич фотодиоднинг ишлаш принципи

Биринчи ҳолатда электрон-ковак жуфтлиги бирлашган соҳада ҳосил бөелади ва кучли электр майдон таъсири натижасида жуфтликлар бөелиниб, оезларини электродларига, яъни электронлар n-соҳага, коваклар р-соҳага ҳаракат қилади. Ташувчиларни ҳосил бөелиши ва ҳаракати тузилишдаги

сёрнатилган мувозанатни бузади. Уни тиклаш учун ташқи ёпик занжир орқали $R_{ю}$ -юклама қаршилигидан электр токи оқиб оғтади.

Иккинчи ва учинчи ҳолатларда электрон-ковак жуфтлиги р-ва n-соҳаларда ҳосил бўелади. Бу соҳаларда электр майдон амалда мавжуд эмас, натижада ташувчиларни оғтишга ҳаракати асосан фақатгина диффузия ҳисобига бўелиши мумкин. Агар р-n-оғтишгача бўелган масофа диффузия узунлигидан катта бўелса, унда бирлашган соҳага боришга улгуриб етмай, ҳосил бўелган жуфтликлар рекомбинацияланиб бўелади. Агар бу масофа кичик бўелса, катта эҳтимоллик билан жуфтликлар бирлашган соҳага етиб боради ва кучли электр майдон таъсирида электрон (ёки ковак) тезда бирлашган соҳа орқали бошқа соҳага қараб ҳаракат қилади, ковак (ёки электрон) р-(ёки n-) соҳада қолади. Ташувчилар р-n- оғтишни кесиб оғтганда ҳам мувозанат бузилади, оқибатда $R_{ю}$ орқали оқиб оғувчи электр токи ҳосил бўелади.

Шу тарзда $h \cdot \nu$ энергияли ёруғлик квантининг ютилишидан диодни ташқи занжири бўйлаб электр токи импульси оқиб оғтади. Агар ҳар бир ютиладиган квант электрон-ковак жуфтлигини ҳосил қилса ва ток ташувчилари р-n-оғтиш текислигини кесиб оғтса, $R_{ю}$ орқали оқиб оғувчи I электр токининг оғртача қиймати қуйидагича аниқланади:

$$I = q \cdot N = q (P / h \cdot f) , \quad (5.2)$$

бу ерда q-ташувчи электрон заряди, $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл;

N-ташувчилар сони;

P-оптик нурланиш қуввати, Вт;

$h \cdot \nu$ -квант энергияси, Вт·с ёки кВт·соатда ўлчанади.

Электронларни валент зонадан оғказувчанлик зонага оғтиши учун ютилаётган квант энергияси етарлича бўелиши керак, яъни $h \cdot f$ квант энергияси тақиқланган соҳа кенглигидан катта $h \cdot f \geq \Delta E_q$ бўелиши керак.

Ютиладиган ёру $\frac{1}{2}$ лик квантларининг ҳаммаси ҳам электр токи импульсларини ҳосил қилмайди. Шунинг учун фотодиодлар, фотонларни электр токига айланиш самарадорлигини характерловчи **η -квант самарадорлиги** коэффиценти билан баҳоланади [4].

Квант самарадорлигини ҳисоблаш формуласи:

$$\eta = 1,24 \cdot 10^5 S / \lambda , \% , \quad (5.3)$$

бу ерда S-сезгирлик, А/Вт;

λ -оптик сигнал тўлқин узунлиги, нм.

Шу тарзда умумий ҳолда $R_{ю}$ орқали оғтаётган электр токининг оғртача қиймати қуйидаги формуладан топилади:

$$I = \eta q (P/h \cdot f) = S \cdot P. \quad (5.4)$$

Юқори сифатли кремний фотодиодларини квант самарадорлиги 80 % етиши мумкин. Лекин фотодиодларни квант самарадорлигини 100% бўлишига эришиб бўлмайди[6]. Турли ярим о'tказгич ФД материаллари учун максимум квант самарадорлигига эришиладиган тўлқин узунликлари 5.1-жадвалда берилган [1].

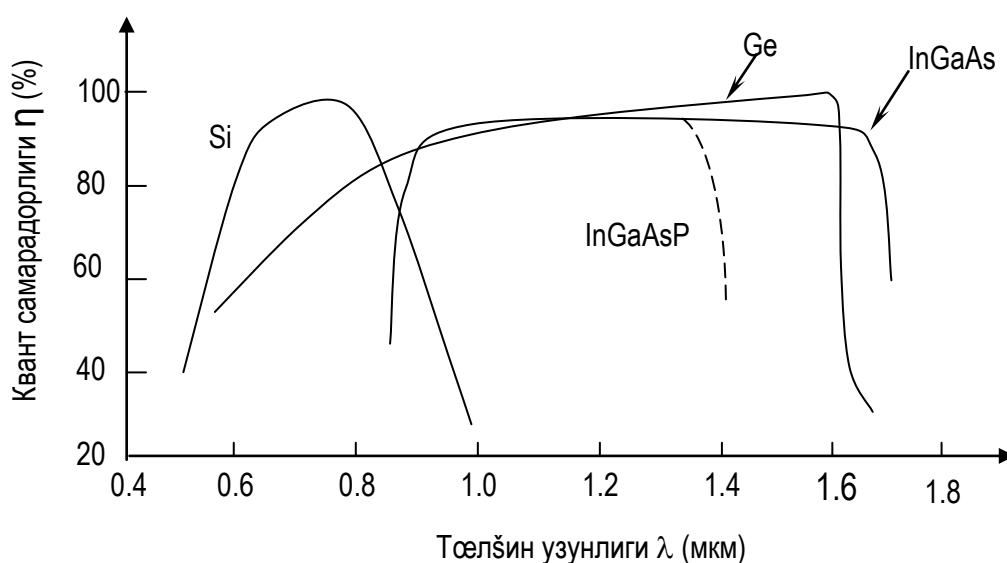
5.1-жадвал

Турли тўлқин узунликлари фото қабул қилгичларини яратиш учун қўлланиладиган элементлар ва материаллар

Материал	Қабул қилинадиган тўлқин узунликлари диапазони λ , нм
Кремний	400-1000
Германий	600-1600
GaAs	800-1000
InGaAs	1000-1700
InGaAsP*	1100-1600

5.2-расмда эса квант самарадорлигини тўлқин узунлигига бўланиши кўрсатилган [1].

*-аралашмалар қўеиш, легирлаш даражасига бўлқик



5.2-расм. Турли материаллар учун квант самарадорлигини тўлқин узунлигига бўланиши

Квант самарадорлиги билан бир қаторда сезгирлик ва вақт доимийси фото қабул қилгичларнинг асосий характеристикалари ҳисобланади.

Фотодиод сезгирлиги - S бу ёру^{1/2}лик қувватини электр токига айланишдаги тселик фойдали иш коэффициентидир (ФИК), яъни фототок I сёртача қийматининг оптик қувват P сёртача қийматига нисбатидир, А/Вт [4]:

$$S = I/P, \quad (5.5)$$

ёки (5.4) ни ҳисобга олганда

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

Бундан ксириниб турибдики, актив соҳада ютиладиган ёрујлик оқимлари қанча ксеп бселса, яъни η -квант самарадорлиги қанча юқори бселса, сезгирлик ҳам шунча юқори бселади.

Вақт доимийси τ -фото қабул қилгичнинг тезкорлигини характерлайди ва у ксепгина параметрларга: бирлашган соҳа кенглигига, тсёлқин узунлигига, шунингдек ташувчилар диффузия оқибатидами ёки электр майдон таъсирида ҳаракат қиляптими, шуларга бо^{1/2}лик.

τ билган ҳолда ФД сётказиш полосаси кенглигини $\Delta f_{\text{сёт}}$ аниқлаш мумкин

$$\Delta f_{\text{сёт}} = 0,4 / \tau. \quad (5.6)$$

Демак, τ қанча кам бселса, сётказиш полосаси шунча юқори бселади,

ФД вақт доимийси τ диффузия вақтига ва бирлашган соҳадан сетиш вақтига бо^{1/2}лик. Шунинг учун р- ва n-соҳаларнинг, шунингдек бирлашган соҳанинг сёлчамлари муҳим ҳисобланади. Келаётган нурни бирлашган соҳада тселик ютилиши, квант самарадорлигини ошириш мақсадида р-ва n-соҳалар ингичкароқ, бирлашган соҳа эса кенгроқ қилиб ишлаб чиқарилади. Бу р- ва n-соҳаларга аралашмаларни ксепроқ ксешиш, яъни юқори легирлаш, бирлашган соҳани эса камроқ легирлаш ёрдамида амалга оширилади[1]. р- ва n-соҳаларга фотонлар тушганда диффузия токи ҳосил бселади, бу эса ФД тезкорлигини камайтиради. Лекин, бирлашган соҳани ўлчамини кенглиги, бу соҳадан ташувчиларни ўтиш вақтини оциради. р-і-n турдаги диодларда бирлашган соҳа кенглиги 20 мкм атрофида бўлади [6].

ФД ни характерловчи энг муҳим ксёрсаткичлардан бири бу шахсий шовқинлар сатҳи ҳисобланади. Шовқинлар регенерациялаш пунктлари орасидаги масофага таъсир қилады. ФД да доимий оқиб сетадиган ток қиймати I_0 билан шартланадиган дроб шовқинлари асосий шовқин омили ҳисобланади. Дроб шовқинларининг токи:

$$I_{\text{др.ш}} = \sqrt{2 \cdot q \cdot I_0 \cdot \Delta f} = \sqrt{2 \cdot q \cdot I_0 \cdot B}, \quad (5.7)$$

бу ерда q -электрон заряди;

I_0 - ФДдан доимий оқиб оетуви ток қиймати;

Δf -частота полосаси кенглиги;

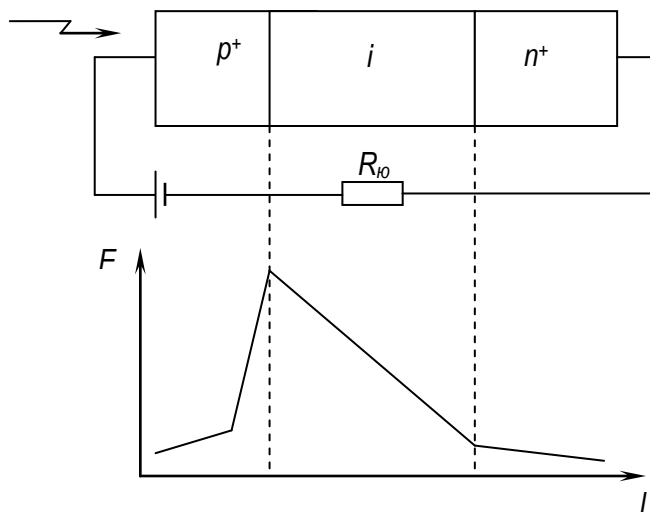
V -узатиш тезлиги.

ОА тизимларида p - i - n ФД ва ксчкисимон ФДлар кенг тарқалган.

5.1.1. p - i - n фотодиодлар

p - i - n ФД тезкорлиги ва параметрларининг барқарорлиги билан ажралиб туради. p - i - n ФД тузилиши (5.3-расм) одатдаги p - n ФД дан фарқ қилади. p - i - n ФДда p^+ - ва n^+ - соҳаларни аралашмалар билан легирланиши жуда юқори (+юқори легирланишни билдиради), бу p^+ ва n^+ соҳаларни оетказувчанлигини оширади. i -соҳага эса аралашмалар камроқ қсшилади.

Электр майдоннинг максимал қиймати i -соҳада ҳосил бселади. p - i - n тузилишга тескари силжишли U_0 кучланиш берилади. Ёрујлик i -соҳага тушганда, унда электрон-ковак жуфтлиги ҳосил бселади. Электр майдон таъсирида улар тезда бселиниб ва карама-қарши йсеналишларда сзларини электродларига қараб ҳаракатланишади. Электродларни эгаллаб, электр токи ҳосил бселади. p - i - n ФД тузилиши i -соҳадан ташқарида нурланиш ютилишини кескин камайтиради (5.3-расм)[4].



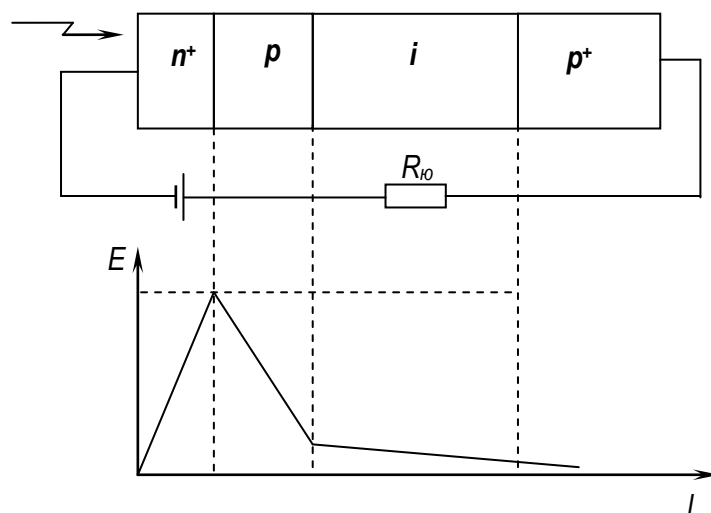
5.3-расм. p - i - n турдаги фотодиод ва электр майдон кучланганлигини тақсимланиши

5.1.2. Ксчкисимон фотодиодлар

Кўчкисимон фотодиодларни одатий ФДдан асосий фарқи кўчкисимон электрон кўпайишга асосланган холда сигналларни ички кучайиши

ҳисобланади. Кўчкисимон ФДда p^+-i-n^+ тузилишга n^+)қўшилади (5.4-расм)[4].

p -соҳа (p^+-i-p-



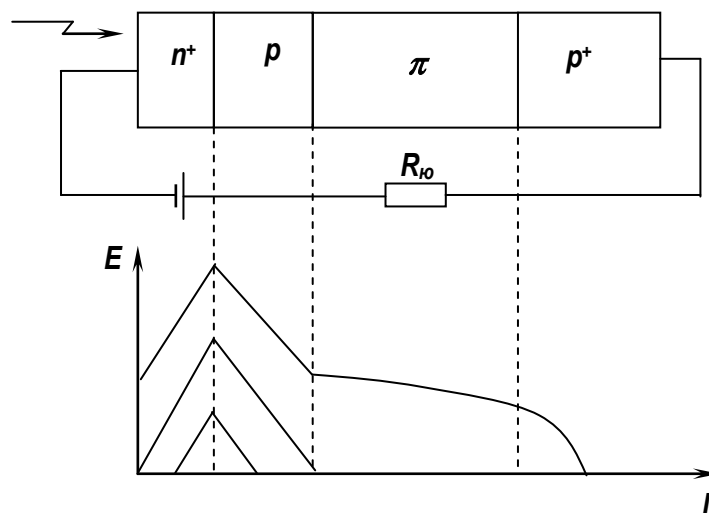
5.4-расм. Ксечкисимон ФД тузилиши ва электр майдонини тақсимланиши

p -соҳа энг юқори қаршилик, шунингдек энг юқори электр майдон кучланганлигига эга бўлиши керак. i -соҳага ёруғлик таъсир қилганда электрон-ковак жуфтликлари ҳосил бўлади ва улар бўлиниб, электродларга тамон ҳаракат қилади. Эркин электронлар i -соҳадан p -соҳага тушганда, p -соҳадаги юқори электр майдон кучланганлиги туфайли улар тезлашади. p -соҳани сэтказувчанлик зонасида тезлашган ва етарлича энергияга эга бўлган бу дастлабки электронларни атомлар билан урилишидан, яъни зарб ионланиш туфайли янги электрон-ковак жуфтликлари ҳосил бўлади. Натижада дастлабки электрон-ковак жуфтлиги ҳосил қилган электр токи кўчкисимон тарзда ошади. Шунинг учун бу жараён бирламчи фототокни ксечкисимон ксепайиши ёки кучайиши дейилади [1]. Фототокни бундай ошиши M -ксечкисимон ксепайиш коэффиценти билан характерланади. У ҳолда ксечкисимон ФД чиқишидаги ток қиймати (5.4) дан аниқланган қийматдан юқори бўлади [4].

$$I_{\text{к.ФД}} = M \frac{\eta \cdot q}{h \cdot \nu} P. \quad (5.8)$$

Ксечкисимон ФДларда M га пропорционал ҳолда кучаядиган, фойдали сигналдан фарқли равишда шовқин тезроқ кучаяди. Шунинг учун ксечкисимон ксепайиш коэффиценти M қиймати оптимал, одатда 30 дан 100 гача оралиқда танланади. M ошган сари, ксечкисимон ФД тезкорлиги камаяди[1]. Кремнийли ксечкисимон ФД ларда $M=100$ да вақт доимийси

тахминан 3 мартага ошади, яъни тезкорлиги камаяди, шунчага оётказиш полосаси камаяди. Бу камчиликини i -соҳани кучсиз легирланган, бир неча микрометрли π -соҳа билан алмаштириш орқали бартараф этиш мумкин (2.8-расм)[4].



2.8-расм. π -соҳали кёчкисимон ФД тузилиши ва электр майдонини тақсимланиши

2.8-расмда π -соҳали кёчкисимон ФД да электр майдони куйидагича тақсимланган:

- 1- эгри чизик электр майдон оётиш доирасида ва кёчкисимон кёспайиш юзага келган холатга мос келади;
- 2- эгри чизик электр майдон p -соҳа чеккасига етган холатни билдиради;
- 3- эгри чизик электр майдон π -соҳага кирганлигини кёрсатади ва шу соҳада генерацияланадиган ташувчиларни ажратадиган майдон яратилади.

Бундай π -соҳали кёчкисимон ФД лар $p-i-n$ ФД лардака вақт доимийсига ва кёчкисимон ФД лардака ички кучайишга эга [4]. Кёчкисимон ФД ларни сезгирлиги $p-i-n$ ФД лардан анча юқори бёелиб, ишчи диапазонда 20-60 А/Вт ни ташкил этади. Кўчкисимон ФД ларни сезгирлиги юқори бёелганлиги учун улар 2,5 ва 10 Гбит/с юқори тезликли тизимларда қўлланилади. $p-i-n$ ФД лардан эса кичик тезликли (< 622 Мбит/с) тизимларда фойдаланилади.

2,5 Гбит/с ли ТОО тизимларида InGaAs/InP кёчкисимон ФД лардан фойдаланиш $p-i-n$ ФД лардан фойдаланишга нисбатан 7 дБ ва 10 Гбит/с тезликда эса 5-6 дБ ютуққа олиб келиши мумкин [6].

Кёчкисимон ФД $p-i-n$ ФД га қараганда юқори ишчи кучланишни талаб этади ва кёспайиш коэффициентини ҳароратга сезгирлиги юқори. Бу эса керакли ишчи кучланишни ишлаб чиқарувчи махсус электр занжирларни,

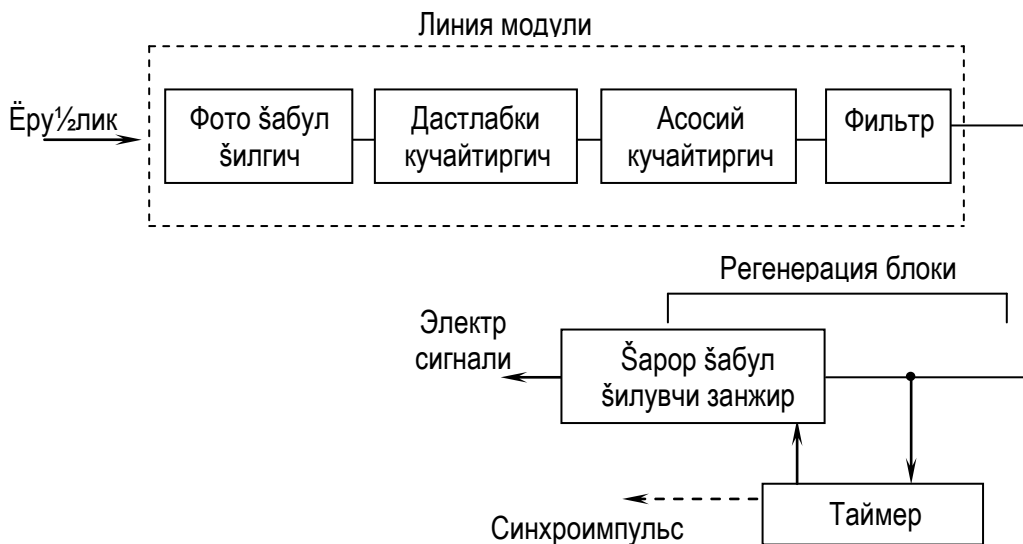
шунингдек ҳарорат барқарорлигини таъминловчи тизимларни қўлланилишини талаб этади [1].

5.2. Оптик сигнални қабул қилувчи модулар

Оптик сигнални қабул қилувчи модулар (ОҚҚМ) ОА тизимининг муҳим элементи ҳисобланади. Унинг вазифаси толадан қабул қилинган оптик сигнални электр сигналига айлантириш бўлиб, сўнг бу сигналларга электр қурилмалар ёрдамида ишлов берилади.

ОҚҚМни соддалаштирилган блок схемаси 5.5-расмда кўрсатилган. Унинг асосий элементлари:

- фото қабул қилгич (*p-i-n* ФД ёки ЛФД) қабул қилинган оптик сигналларни электр сигналларига айлантиради;
- электр кучайтиргичлар каскади, сигнални кучайтиради ва унга ишлов бериш учун керакли кўринишга ўзгартиради. Сигналлар бир ёки бир неча босқичларда кучайтирилади. Биринчи босқичдаги кучайтиргич, дастлабки кучайтиргич дейилади. Берадиган шовқин сатҳини кичиклиги унинг хусусияти ҳисобланади;
- асосий кучайтиргич. Дастлабки кучайтиргичдан сўнг сигнал юқори қувватли асосий кучайтиргичда кучайтирилади;
- фильтр сигнал шовқин нисбатини ошириб, шовқинларни камайтиради;



5.5-расм. Рақамли оптик қабул қилувчи модулнинг функционал элементлари

- қабул қабул қилувчи занжир. Дисперсия туфайли қабул қилинган импульс охирлари чизилиб бошланғич тўғри бурчакли кесринишни йўқотиш мумкин. Тўғри бурчакли бошланғич кўринишни тиклаш учун қарор қабул қилувчи занжир ёки дискрематор оёратилади. У чегарага эга бўлиб, агар унга тушган сигнал амплитудаси чегарадан кичик бўлса, унда сигнал ҳал бўлмайди, агар чегарадан ошса, унда чиқишида маълум амплитудали сигнал ҳосил бўлади. Бунда импульс узунлиги бузилиши, шовқинни фойдали сигнал деб хато қарор қабул қилиши каби камчиликлар бўлиши мумкин. Бу камчиликларни бартараф этиш учун дискрематор импульслар кетма-кетлиги частотаси ҳақидаги ахборотга эга бўлиши керак;
- таймер, юқоридаги камчиликларни бартараф этиб, синхронизацияни, яъни оптик узатувчи ва қабул қилувчи модуллари синхрон ишлашини таъминланади [1].

6. ОПТИК НУРЛАНИШНИ МОДУЛЯЦИЯ ВА ДЕМОДУЛЯЦИЯСИ

6.1. Оптик нурланишни модуляциялаш усуллари

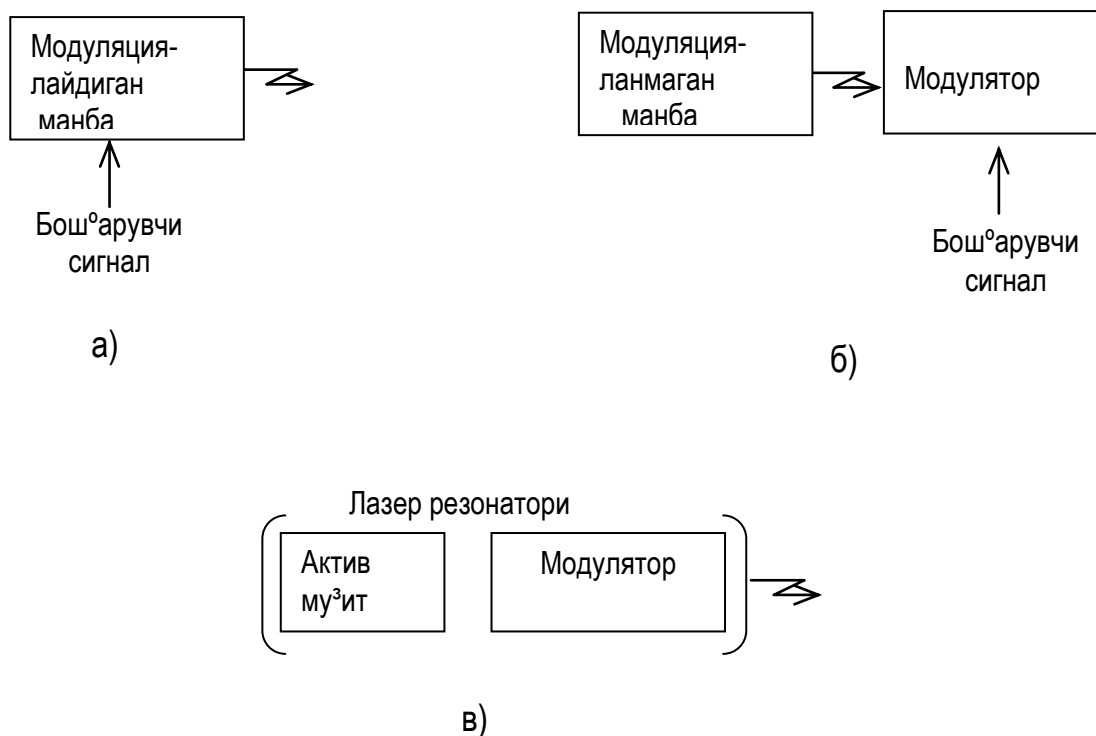
²озирги вақтда қўлланиладиган асосий модуляция тури бу жадаллик бўйича тўғри модуляциядир. Умуман модуляция - бу ёруғлик параметрларини асосан амплитуда ёки фазасини ўзгаришидир, лекин бошқарувчи сигналга боғлиқ ҳолда кутбланишни, тарқалиш йўналишини, модаларни тақсимланиш частотаси ва бошқа параметрларни ўзгариши ҳақида ҳам гапириш мумкин. Модуляциялайдиган сигнал электрик (ток, кучланиш), акустик, механик ва ҳатто оптик бўлиши мумкин.

Оптик сигнал модуляциясини ҳосил қилишни ҳар хил усуллари мавжуд. Улардан биринчиси-бу тўғри модуляция бўлиб, унда ЛД ёки ЁНД нурланиш модуляциясига ташқи токни ўзгартириш йўли билан эришилади. (6.1,а-расм). Иккинчи усул-модуляцияланмаган ёруғлик манбаи нурланишини модуляцияси. Бу ташқи модуляция дейилади (6.1,б-расм). Ва ниҳоят, агар мос келувчи модулятор бўлса, унда уни лазер резонаторига

киритиш ва шу тарзда ички модуляцияни амалга ошириш мумкин (6.1, в-расм) [4]. Ички модуляция тўғри модуляцияни бир тури ҳисобланади.

Ташқи модуляция учун бошқарувчи сигнал оптик нурланишга таъсир қилиши керак. Бунинг учун оптик модулятор ёки оддий модулятор керак. Модулятор – бу шундай, ёруғликни модда билан ўзаро таъсири юз берадиган тизим. Бу модуляторларда шундай кристаллар ишлатилинадики, кристалл материални ё синдириш кўрсаткичи, ё ёруғлик тўлқинини ютилиши модуляциялайдиган сигнал билан ўзгаради. Синдириш кўрсаткичи билан бошқариш, ё электрооптик эффектга (электр майдон таъсир қилади), ё магнитооптик эффектга (магнит майдон таъсир қилади), ё пьезооптик эффектга (зичликни пьезоэлектрик ўзгариши таъсир қилади) асосланади. Оптик алоқа модуляторларида кўпинча электрооптик эффект ишлатилинади. Магнитооптик эффектлар билан ифодаланадиган материаллар ёруғлик учун мўлжалланмаган. Пьезооптик модуляторларни ишлаб чиқариш электрооптик модуляторларга қараганда мураккаб ва улар жуда қўпол.

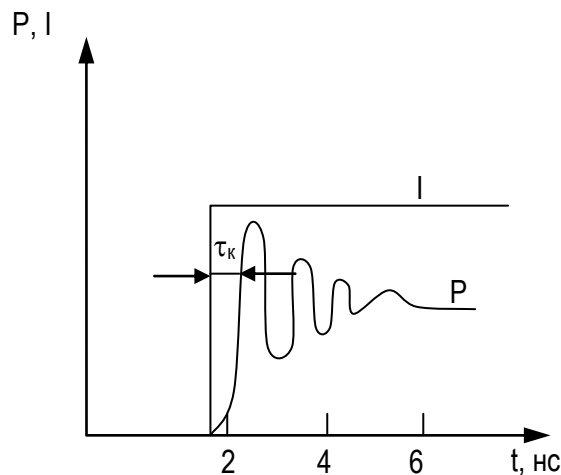
Демодуляцияда асосан оптик сигнални қабул қилишни икки тури қўлланилади: фотодетектор билан бевосита қабул қилиш (нокогерент қабул қилиш) ва когерент қабул қилиш. Когерент қабул қилишда оралик частотада қўлланиладиган демодуляция турига (синхрон ёки носинхрон) боғлиқ бўлмаган ҳолда частоталарни гетеродин ёки гомодин ўзгартириш қўлланилади.



6.1-расм. Оптик нурланиш модуляцияси: а-тўғри; б-ташқи; в-ички

6.2. Тўғри модуляция ва демодуляция

Ташқи ток билан ЛД нурланиш жадаллигини тўғри модуляцияси юқори тезликда амалга оширилиши мумкин. Бу афзаллик электронларни кичик спонтан яшаш вақти $\tau_{\text{сн}} \sim 10^{-9}$ с ва мос равишда инверс жойлашишни тез бориш имконияти билан аниқланади. 6.2-расмда кўрсатилган кўп модали лазерни ўтиш характеристикаси, стационар режимни ўрнатиш жараёнини акс эттиради[4].



6.2-расм. Кўп модали лазерни ўтиш характеристикаси

Ток бирдан ошиб, лазер қўзғалганда аввал тенг бўлмаган ташувчилар зичлигини чегаравий сатҳгача ўсиши учун зарур бўлган, генерация бошланишини τ_k вақтга кечиқиши кузатилади:

$$\tau_k = \tau_{\text{сн}} \cdot 20 \lg [I / (I - I_q)]. \quad (6.1)$$

Табиийки, агар лазер орқали I_c силжитиш токи оқиб ўтса, τ_k камайиши мумкин:

$$\tau_k = \tau_{\text{сн}} \cdot 20 \lg [I / (I - I_q + I_c)]. \quad (6.2)$$

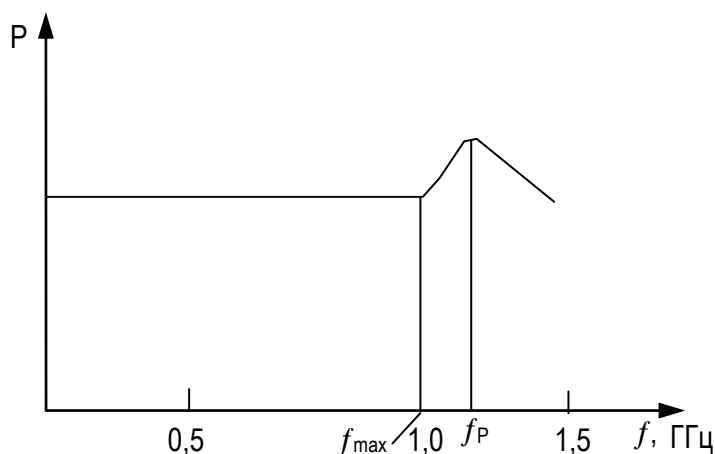
Инверс жойлашишни тезлиги нурланиш жадаллигини сўнувчи тебранишларини ҳосил бўлишига, уларни стационар қийматлари яқинида инверс жойлашишга олиб келади. Идеал бир модали лазерда бу релаксацион тебранишларни частотаси f_p қуйидаги яқинлаштирилган формула орқали ифодаланади

$$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{\tau_{\text{сн}} \cdot \tau_{\text{ф}}}} \sqrt{\frac{I}{I_q} - 1},$$

(6.3)

бу ерда $\tau_{\phi} \approx 10^{-12}$ с-резонаторда фотонларни яшаш вақти бўлиб, ундаги йўқотишлар билан аниқланади.

Лазерни ўтиш характеристикасида релаксацион тебранишларга частота характеристикасидаги f_p яқинидаги резонанс мос келади. (6.3-расм) [4].



6.3-расм. Бир модали лазерни частота характеристикаси

Шу тариқа давомийлиги $\tau_u \gg \sqrt{\tau_{\text{сн}} \cdot \tau_{\phi}}$ бўлган, ташки токни ўзгартириш билан ҳосил қилинган импульс модуляциясида, вақтни ҳар бир моментиди жадаллик лазерни статик ватт-ампер характеристикасига мос равишда стационар қийматларни қабул қилади. $\tau_u \gg 2\pi \sqrt{\tau_{\text{сн}} \cdot \tau_{\phi}}$ да ўтиш жараёнлари муҳим таъсир кўрсатишни бошлайди.

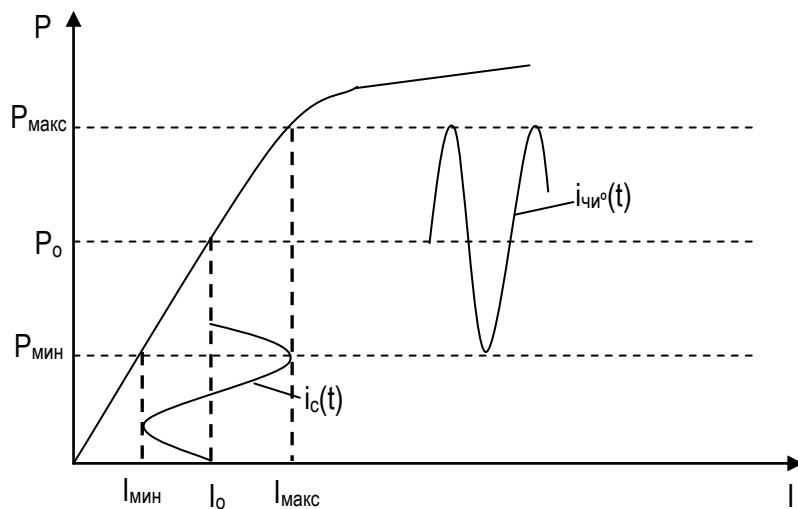
²исоблашлар шуни кўрсатадики, кўп модали лазерлар қўлланилганда 400 Мбит/с ли импульс кодли модуляция (ИКМ) етарлича осон ҳосил қилинади. Бир модали ЛД қўллаб, бир неча тера герц ТГц узатиш тезликларини ҳосил қилиш мумкин.

ЁНД каби спонтан ёруғлик манбалари учун фақат қўзғалишни бошқариш воситаси билан жадалликни тўғри модуляцияси қўлланилади. ЁНДда нурланиш қуввати инжекция I_u токини бирдан ошиши билан чизиқли ўсади ва термик (иссиқлик) эффектлари билангина чегараланади.

Аналог модуляциялайдиган сигнал қўлланилганда жадаллик бўйича модуляцияни кўриб чиқамиз. 6.4-расмда модуляция жараёни кўрсатилган. P_0 ва I_0 параметрли ишчи нуқта ватт-ампер характеристиканинг чизиқли участкасини ўртасида танланади. Модуляция А режимда амалга оширилади ва модуляция коэффициенти учун ифода қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$m = (I_{\text{макс}} - I_{\text{мин}}) / (I_{\text{макс}} + I_{\text{мин}}) = \sqrt{2} I_{\alpha} / I_0 = (P_{\text{макс}} - P_{\text{мин}}) / (P_{\text{макс}} + P_{\text{мин}}), \quad (6.4)$$

бу ерда I_α -модуляция сигнали токини амалдаги қиймати



6.4-расм. Аналог сигнал қўлланилганда ЛДни жадаллик бөейича модуляцияси

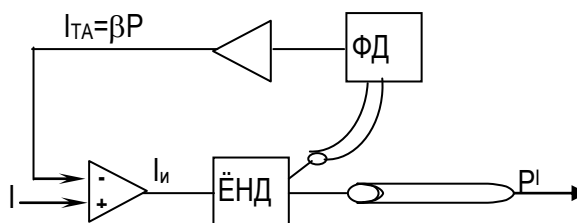
Аналог модуляцияда яхши чизиқлилиқ талаб этилади (гармоникалар сатҳи кичик). Кичик нозизиқли бузилишларни олиш мақсадида ёки модуляция чуқурлигини камайтириш, бу қабул қилишда сигнал-шовқин нисбатини камайтишига олиб келади, ёки киритадиган нозизиқли бузилишларни компенсациясини амалга ошириш мумкин. Оптик нурлантиргич нозизиқлигини компенсациялашни бир неча усуллари тавсия этилган: дастлабки бузилишларни киритиш; фаза модуляцияси усули; ярим дастлабки бузилишлар усули ва манфий тескари алоқа усуллари.

Дастлабки бузилишларни киритиш усулида модуляцияда оптик нурлантиргич киритадиган бузилишларга тескари бўлган бузилишларни электрон усул билан узатиладиган сигналга дастлабки киритилиши назарда тутилади.

Фаза модуляцияси усули катталиги бўйича тенг, лекин $I \cos \omega t$ ва $I \cos (\omega + \pi/2)$ тоқлар билан $\pi/2$ га фаза бўйича сурилган, айнан ўхшаш, бир хил характеристикали икки ЁНДни бир вақтда модуляциясида бўлади. Нурланадиган қувватларни кейинги қўшилиши, яъни $\cos 2 \omega t$ ва $\cos (2 \omega t + \pi)$ кўринишдаги қушилувчилар иккинчи гармоникаларни йўқотиш имконини беради.

Ярим дастлабки бузилишлар усулида киритиладиган бузилишлар сатҳини баҳолаш ва уларни нурлантиргичнинг модуляция токини мос равишда ўзгартириш йўли билан тўғрилаш имконини берадиган, таянч ёруғлик диоди қўлланилади. Аввалги усулдагидек, асосий ноқулайлик шундан иборатки, айнан ўхшаш, бир хил характеристикали, фақатгина махсус буюртма бўйича тайёрлаш мумкин бўлган иккита диод керак бўлади.

Манфий тескари алоқа усули кучайтиргичларда кенг қўлланилади ва энг содда тарзда амалга оширилади. Бу шундан иборатки (6.5-расм), ёрдамчи тола ёрдамида нурланадиган P қувватни кичик қисми олиб берилади, сўнг у нурлантирадиган ЁНД модуляциялайдиган токига таъсир қилади.



6.5-расм. Манфий тескари алоқа усули билан оптик нурланиш нозизиёлилигини компенсациялаш

Тескари алоқа токи

$$I_{\text{та}} = \beta \cdot P,$$

бўлсин, бу ерда β -нурланиш ва ёрдамчи фото қабул қилгич ўртасидаги алоқани самарадорлигини, шунингдек фото қабул қилгич кучайишини ҳисобга олувчи коэффициент.

Шу тариқа, ҳақиқатдан модуляциялайдиган ток

$$I_{\text{м}} = I - I_{\text{та}}.$$

Яқинлаштирилганда ЁНД нурланиш характеристикасини

$$P = a(I_{\text{м}} - b I_{\text{м}}^2),$$

кўринишдаги парабола деб ҳисоблаш мумкин;

бу ерда $a \approx 10^{-2}$ Вт/А; $b \approx 2 \cdot \text{А}^{-1}$

Унга I сигнал токи орқали ифодаланган ток ва P нурланиш қувватини қўйиб, қуйидаги тенглик ҳосил қилинади:

$$P = a[(I - I_{\text{та}}) - b(I - I_{\text{та}})^2] = a[(I - \beta P) - b(I - \beta P)^2],$$

$I - \beta P$ тенгламани ечиб, қуйидагини аниқлаймиз

$$I - \beta P = -[1 - \beta a \pm \sqrt{(1 + \beta a)^2 - 4Iab\beta}] / 2ab\beta.$$

$P=0$ ва $I=0$ ни берадиган, фақат бир ечимни танлаб ва уни $(I + \beta a)$ даража бўйича қаторга қўйиб, биринчи икки аъзо билан чегараланиб,

$$I - \beta P = \frac{I}{1 + \beta a} + \frac{ab\beta I^2}{(1 + \beta a)^3},$$

ҳосил қиламиз. Бундан

$$P = \frac{a}{1 + \beta a} [I - \frac{bI^2}{(1 + \beta a)}].$$

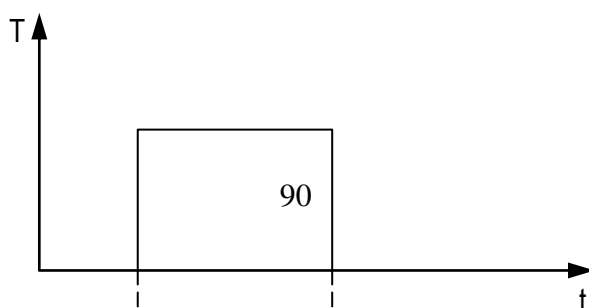
Нурланадиган қувват учун олинган ифодани тескари алоқа мавжуд бўлмаганда бўлишга мумкин бўладиган яъни $P = a(I - bI^2)$ билан солиштирилганда, у ҳолда амплитуда бузилишларни $(1 + \beta a)^2$ мартага камайишини кўриш қийин эмас, лекин бу билан бир вақтда нурланиш қуввати ҳам $(1 + \beta a)$ мартага камаяди. Шу тарзда, β тескари алоқа коэффиценти бир томондан нозизиқли бузилишларни қуйи сатҳ талаблари ва бошқа томондан юқори нурланадиган қувват ва схемани юқори барқарорлик талаблари ўртасидаги муроасага асосан танланади.

Рақамли сигнал билан ЁНД модуляциясида узатгич схемаси соддалашади, чунки ватт-ампер характеристикасини қўшимча чизиқлаштириш талаб этилмайди.

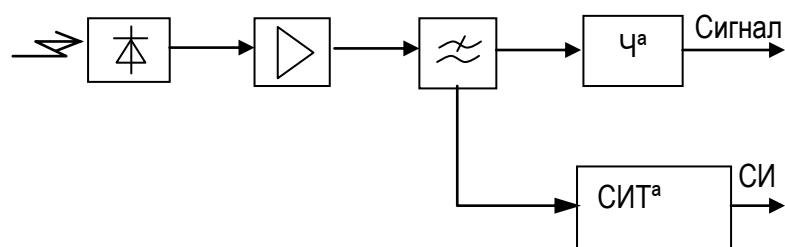
ЁНДни рақамли сигналлар билан модуляциясини кўриб чиқамиз. Рақамли сигнал билан жадаллик модуляциясида инжекция токини бирдан ошиши ва нурланиш бошланиши орасида кечикиш юзага келади. 6.6-расмда токни бирдан ошиши ва камайиши билан ЁНДни ёқиш ва ўчириш кўрсатилган. I ток бирдан ошганда аввал U ошади, сўнг эса t_k га кечикиш ва τ ўсиш вақти билан нурланиш бошланади. Ток ўчирилганда нурланиш жадаллиги тахминан τ вақт доимийси билан экспоненциал камаяди. Кучланиш янада секинроқ камаяди.

Рақамли модуляцияда t_k кечикишни камайитириш учун токни бирдан ошиши ва нурланиш бошланиши оралиғида ЁНДга потенциалларни контакт фарқиға яқин бўлган силжитиш токини бериш керак. Бундай силжитишда кечикиш фақатгина τ ни ўсиш ва камайиш вақти билан шартланади. Улар импульсларни жуда бўлмаганда 2τ га кенгайтиради. τ қиймати ЁНДни частота характеристикасини аниқлайди.

Жадаллик бўйича модуляцияланган оптик сигнални қабул қилишга таълуқли бўлган асосий масалаларни кўриб чиқамиз. Бу ҳолда рақамли сигналлар билан модуляцияланган оптик нурланишни қабул қилувчи схема 6.7-расмда берилган.



6.6-расм. Ра^оамли сигналлар билан жадаллик модуляциясида ЛДни ва^от характеристикалари



6.7-расм. Ра^оамли сигнал билан модуляцияланган оптик нурланишни ^оабул ^оилиш схемаси

Фотодиод билан детекторланадиган ток аввал кам шовқинли дастлабки кучайтиргичда кучайтирилади, сўнг шовқин таъсирини камайитириш ва қарор қабул қилувчи схема киришида етарлича юқори сатҳли сигнални олиш учун (чегараловчи қурилма-ЧҚ) филтрланади. қарор қабул қилиш синхроимпульсларни тикловчи қурилма (СИТқ) ёрдамида амалга оширилади. Кўпинча қабул қилиш схемасига САБ-сатҳни автоматик бошқариш блоки киритилади. САБ кучайтиргичларни кучайтириш коэффицентини, кўчкисимон ФД қўлланилганда кўпайиш коэффицентини ва кириш сатҳи ўзгаришларини компенсациялайди.

Сигнал-шовқин С-Ш нисбати қабул қилувчи қурилма ишини асосий сифат кўрсаткичи ҳисобланади. Фото қабул қилувчи қурилма сифатида р-і-п ФД ишлатилинган ҳол учун сигнал-шовқин нисбатини аниқлаймиз.

Аввал айтиб ўтилгандек, ФД чиқишидаги фототок қуйидаги ифода орқали аниқланади:

$$I = q \eta (P/h \cdot f) . \quad (6.5)$$

Фотодетектор чиқишидаги шовқин р-і-п ФД чиқиш токи титрашларини (дисперсиясини) ўртача квадратик қиймати бўлиб, Шотки формуласи бўйича аниқланади:

$$I_{ш}^2 = 2q (I + I_r) B .$$

қабул қилгичларда юкламани актив қаршилиги билан шартланадиган $I_{иш}$ иссиқлик шовқинлари қўшимча шовқин манбаи ҳисобланади:

$$I_{иш} = 4kT \cdot B/R ,$$

бу ерда k-Больцман доимийси;

T-абсолют ҳарорат, К.

С-Ш нисбатини ФД чиқишидаги фототокни амплитуда қиймати квадрaтини барча шовқин манбаларини дисперсиясига нисбати орқали аниқлаш мумкин. Бизни ҳол учун қуйидагига эга бўламиз:

$$C-Ш = \frac{I^2}{I_{ш}^2} = \frac{I^2}{2qB[I + I_r] + 4kTBF_{ш}/R} . \quad (6.6)$$

Ушбу ифодада кучайтиргични шовқин манбалари кучайтиргични шовқин коэффицентини $\xi_{ш}$ билан келтирилган.

р-і-п диодлар учун юкламани иссиқлик шовқинлари ва кучайтиргичларни шовқинлари дроб шовқинларидан анчагина ошади, шунинг учун

$$C-Ш = I^2 R / (4kTBF_{ш}) .$$

Шу тарзда С-Ш нисбатини оптималлаштириш учун шовқин манбалари кучсиз, кириш токи – нисбатан кўп, юкламани тўлиқ қаршилиги R эса - катта бўлиши керак.

Шахсий шовқинлари бўлмаган идеал фото қабул қилгич учун С-Ш нисбатини кўрсатиш осон:

$$C\text{-}Ш = \frac{P\eta}{2kfB} \quad (6.7)$$

Бу ифода киришдаги минимал қувват сигнал билан бирга келадиган квантлаш шовқинлари билан чегараланганда, $t^{1/2}$ ри фотодетекторлаш фото қабул қилгичини чегаравий сезгирлигига мос келади.

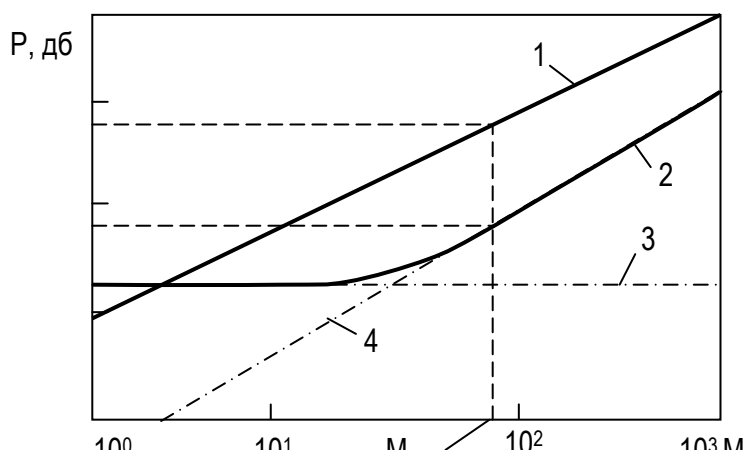
Кўчкисимон ФД қўлланилганда ҳолат бир мунча ўзгаради. M кўчкисимон кўпайиш коэффицентини ҳисобга олган ҳолда С-Ш нисбати куйидаги кўринишда ёзилади:

$$C\text{-}Ш = \frac{(IM)^2}{2qB[(1+I_T)M^{2+x} + I_{фТ} + 4kTBF_{ш}/R]} \quad (6.8)$$

(6.8) дан кўриниб турибдики, M ўсган сари С-Ш нисбати ошади. M қиймати учун оптимал ифода мавжуд бўлиб, куйидагича аниқланади:

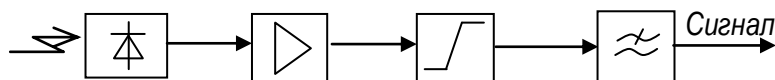
$$M = M_{\text{опт}} = \left[\frac{2(qI_{фТ} + 2kTF_{ш}/R)}{xq(1+I_T)} \right]^{1/(2+x)}$$

Сигнал, шунингдек дроб ва иссиқлик шовқинларини M кучайиш коэффицентига бо'лиқлиги 4.8-расмда келтирилган. Бо'лиқлик эгри чизиқлари (6.8)га мос равишда олинган. Кучайиш коэффицентини оптимал қиймати $M_{\text{опт}}$, йи'инди шовқин асосан дроб шовқинлари билан аниқланадиган пайтга мос келади.



6.8-расм. Сигнал (1), йи^{1/2}инди (2), иссиқлик (3) ва дроб (4) шовқинларини кучайиш коэффицентиға бо^{1/2}лиқлиги

Жадаллик бўйича аналог модуляцияли оптик сигналларни қабул қилишда С-Ш нисбатини аниқлаймиз. Бу ҳолда бевосита оптик қабул қилиш юқори частотали сигналларни тў^{1/2}ри кучайтиришли қабул қилишга ўхшаш. 6.9-расмдаги тузилиш схемаға мос равишда оптик нурланиш бевосита фото детекторға тушади.



6.9. Аналог жадаллик бўйича модуляцияли оптик сигналларни бевосита қабул қилиш схемаси

Халақит қилувчи нурланишлар имкон қадар диафрагмацияланади ва фильтр билан йўқотилади. Лазер кучайтиргичда ёру^{1/2}лик тўлқинларини оптик дастлабки кучайиши ютуқ бериши даргумон, чунки лазерни шовқинлари туфайли сезгирлик атиги озгина ошади. Шунинг учун лазерли дастлабки кучайтиргичларға кетадиган катта мабла^{1/2}лар ўзини оқламайди. Фотодетектордан кейин электр чиқиш токини ўзгарувчан ташкил этувчисини кучайтиргичи ўрнатилади. Фотодетектор ва кучайтиргич орасида, шунингдек кучайтиргич схемасида фильтрларни жойлаштириш мумкун. Фильтрлар сигнал спектрини ташкил этувчиларини шовқинлардан ажратиб туради. С-Ш нисбатини аниқлаймиз. Фотодетекторға жадаллик бўйича модуляцияланган сигнал тушсин. Унда $|c(t)| \leq 1$ да қабул қилинадиган нурланиш қуввати $P(t) = P_0[1 + m c(t)]$, бу ерда P_0 -қабул қилинадиган оптик нурланишни ўртача қуввати; $c(t)$ – модуляциялайдиган аналог сигнал.

Кўчкисимон ФД қўлланилган ҳолда кучайтиргич киришидаги фототокни ўзгарувчан ташкил этувчиси:

$$I_m = mIM.$$

Бу қийматни шовқин тоқларига олиб бориб, С-Ш нисбатига эга бўламиз:

$$C-Ш = \frac{m^2 l^2 M^2}{2q [(l+l_T)M^{2+\chi} + l_{фТ} + 4kTBF_{ш}/R]} \quad (6.9)$$

р-і-п ФД ($M=1$) қўлланилганда сезгирлик иссиқлик ва кучайтиргич шовқинлари билан чегараланади, ёру $^{1/2}$ лик қуввати модуляциясини минимал амплитудаси эса:

$$P_{мин} = (mP)_{мин} = \frac{2hf(2kTBSF_{ш} \cdot 1/R)^{1/2}}{\eta q}.$$

(6.9) ифода m модификациялаш чуқурлиги ошган сари С-Ш нисбатиуб ўсишини кўрсатади. Бундан ташқари, ушбу ифода талаб этиладиган С-Ш нисбатини таъминловчи параметрларнинг қийматларини ўрнатиш имконини беради.

7. ТОЛАЛИ ОПТИК АЛОҚА РАҚАМЛИ ТИЗИМЛАРИНИНГ ЛИНИЯ ТРАКТИ

7.1. Рақамли тизимларнинг толали оптик линия тракти

Оптик нурланишни берилган тўлқин узунлигида узатувчи ва кабелдаги сўнишларни йўқотишни, дисперсия туфайли бузилган сигналларни тў $^{1/2}$ рилашни, берилган шовқиндан химояланганликни таъминловчи оптик алоқа линиясининг техник қурилмалар йи $^{1/2}$ индиси оптик линия тракти дейилади.

Оптик сигналлар тола бўйлаб узатилганда ёру $^{1/2}$ лик нуруни оптик тола materialiда ютилиши ва сочилиб кетишидан сўнади. Дисперсия эса

сигналнинг спектрал ва мода ташкил этувчиларини вақт бўйича сочилиб кетишига, яъни уларни турли вақтларда тарқалишига олиб келади. Дисперсия туфайли оптик сигнал импульсларини давомийлиги ва кўриниши ўзгаради, импульслар кенгайиб кетади.

Бу ҳолатларни ҳаммаси оптик толали узатиш тизимларининг ретрансляторсиз участкасининг максимал узунлигини чегаралайди. Агар узатгич ва қабул қилгич орасидаги рухсат этилган максимал узунлик оширилса, у юлда линия трактининг оралик станцияларида бир ёки бир неча ретрансляторларни жойлаштириш керак.

ТОА линиялари бўйлаб сигналларни узатиш сифати минимал рухсат этилган сигнал-шовқин нисбати ёки шовқиндан ҳимояланганлик билан баҳоланади. Рақамли узатиш тизимларини аналог узатиш тизимларига караганда бир қанча афзалликларга эгалиги сабабли рақамли ТОА тизимларини шовқиндан ҳимояланганлиги 20-25 дБқ дан, аналог узатиш тизимлари учун эса 50-60 дБқ дан кам бўлмаслиги талаб этилади.

Электр кабелли тизимларнинг линия трактдан фарқли равишда оптик тизимларнинг частота ораллиги (ёки узатиш тезлиги) бир неча марта катта. Бу оптик ташувчиларни жуда ҳам юқори частотага (10^{15} Гц гача) эгалиги билан тушунтирилади. Оптик кабелларда сўниш жуда кичиклиги ($\lambda=1,55$ мкм да $\alpha=0,2$ дБ/км гача) сабабли регенераторлар орасидаги масофа 100 км гача бўлиши мумкин. Бу ҳам оптик линия трактининг аҳамиятли томонидир.

7.2. Ретрансляторлар ва уларни турлари.

Оптик сигналларни регенерациялаш

Талаб этиладиган сигнал-шовқин нисбатини, яъни шовқиндан ҳимояланганликни таъминлаш мақсадида рақамли ТОА линияларида ретрансляторлар жойлаштирилади. Ретрансляторлар икки турга бўлинади:

1. Регенераторлар; 2. Оптик кучайтиргичлар.

Дисперсия таъсири унча катта бўлмаган, “0” ни “1” дан фарқласа бўладиган ҳолатлардагина оптик кучайтиргичларидан фойдаланилади. Кучайтиргичлар сигнал шаклини тикламайди, фақат сўнган сигналларни кучайтиради ва қабул қилинган сигналга қўшимча шовқинлар беради. Шунинг учун уларни сони берилган шовқиндан ҳимояланганлик (хатолик коэффициенти) ва дисперсиянинг рухсат этилган қийматларини ҳисобга олган ҳолда чегараланади.

Рақамли регенераторларда сигналлар нафақат кучайтирилади, балки тўқриқланади ҳам. Сигналларни кучайтириш, бошланғич шаклини тиклаш, тўқриқлаш, шовқинларни бартараф этиш регенерациялаш дейилади. Регенерациялаш регенераторларда амалга оширилади. Регенераторни узатувчи ва қабул қилувчи оптик модуллар ва регенерациялаш блоки йиғиндисидан сифатида кўриш мумкин.

Спектр (тўлқин) бўйича зичлаштириш усулида оптик кучайтиргичларнинг вазифаси кескин ортади. Чунки оптик кучайтиргичлар турли оптик ташувчили бир неча оптик сигналларни бир вақтда кучайтиради.

Хаттоки бу ҳолларда ҳам, дисперсия туфайли сигналларни бузилишига ва шовқинларга қўйиладиган талаблар бажарилмайдиган оралиқ станцияларда ва охириги станцияларда регенераторларни ўрнатиш шарт.

Регенератор ва оптик кучайтиргичларнинг таққосий характеристикалари 7.1-жадвалда берилган.

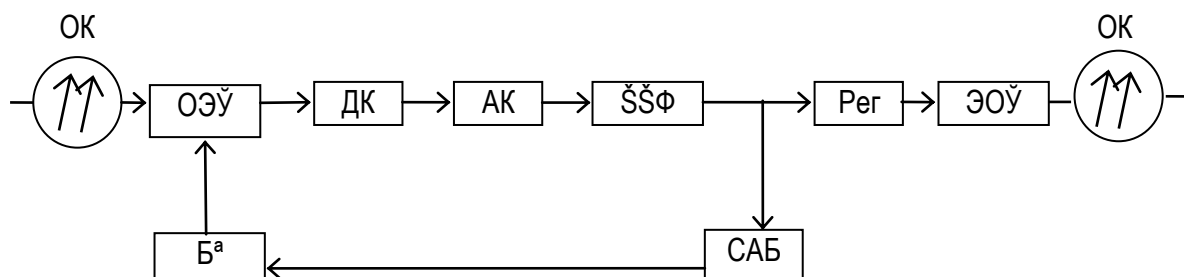
7.1-жадвал

Регенератор ва оптик кучайтиргичларнинг таққосий характеристикалари

Характерисикаси	Регенератор	Оптик кучайтиргич
Тузилиши	Мураккаб	Оддий
Нархи	Арзон	қиммат, аммо тушаяпти
Пухталиги	Юқори	Жуда юқори
Сигнални регенерациялаш	Бажарилади	Бажарилмайди
Узатиш тезлигига боғлиқлиги	Бо ¹ / ₂ лик	Бо ¹ / ₂ лик эмас
Бир вақтда бир неча сигналларни узатиш имконияти	Мавжуд эмас	Мавжуд
Сигнал/ шовқин нисбати	Юқори	қуйи
қўлланиш соҳаси	Локал, регион ва регионлараро тармоқлар	Регионал ва рагионлараро тармоқлар

Оптик кучайтиргичлар кам элементлардан таркиб топгани учун унинг тузилиши оддий. Лекин нархи анча қиммат. Эҳтиёжни ошиши билан нархи арзонлашиши мумкин. Оптик кучайтиргичларнинг ишончлилиги регенераторларга қараганда юқори. Бу унинг энг муҳим афзаллиги бўлиб, сув остида оптик кабелларни ётказганда ретрансляторларни ташкил этишда эътиборга олинади. Оптик кучайтиргичларни иши сигналларни узатиш тезлигига бо¹/₂лик эмас, регенераторларда эса аксинча. Регенераторлар битта сигнал билан ишлайди. Оптик кучайтиргичлар эса кучайтириш зонасининг берилган оралиқ чегарасида турли тўлқин узунликли (WDM сигнал) бир неча оптик сигналларни бир вақтда кучайтиради.

Ретранслятор – регенераторнинг умумий тузилиш схемаси 7.1-расмда келтирилган.



7.1-расм. Рақамли ретрансляторнинг умумлашган тузилиш схемаси

ОК – оптик кабел (станция ёки линия кабел);

ОЭЎ – оптоэлектрон ўзгартиргич. Оптик сигнални электр сигналига ўзгартиради. ОЭЎ сифатида р-і-п фотодиод ёки лавин фотодиод ишлатилади;

ДК – дастлабки кучайтиргич;

АК – амплитуда корректори, оптик кабелда биринчи навбатда дисперсия туфайли ҳосил бўладиган бузилишларни қисман бартараф этади;

ЎЎФ – қабул қилувчи фильтр, фойдали частота ораллигидан ташқаридаги шовқин ва бузилишларни бартараф этиш мақсадида сигнал спектрига боғлиқ равишда частота ораллигини чегаралайди;

САБ – сатҳни автоматик бошқарувчи қурилма, элементларнинг эскириши, ҳарорат натижасида кабел ва ОЭЎ хусусиятларини ўзгаришидан қурилма киришидаги сигналлар ўзгарганда регенератор киришидаги кириш сигналлари сатҳини доимийлигини таъминлайди;

Бқ – бошқарувчи қурилма, САБ қурилмасидан берилаётган сигналлар таъсирида ОЭЎ узатиш параметрлари ўзгаришини таъминлайди;

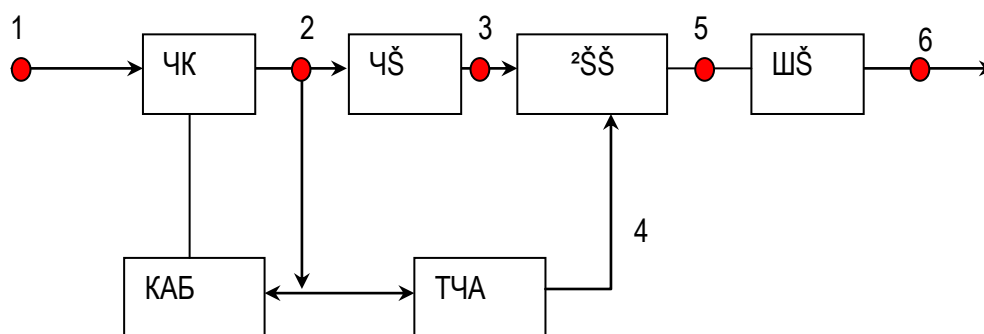
Рег – регенератор, электр импульслари шаклини тиклайди;

ЭОЎ – электрон оптик ўзгартиргич, электр импульслари кетма-кетлигини оптик импульслар кетма-кетлигига ўзгартиради. ЭОЎ сифатида ёруғлик ёки лазер диодлари қўлланилади.

Рақамли ретрансляторнинг асосий элементи регенератор ҳисобланади.

Регенераторнинг умумлашган тузилиш схемаси

7.2- расмда тасвирланган.



7.2-расм. Регенераторнинг умумлашган тузилиш схемаси

Расмда қуйидаги белгилашлар берилган:

ЧК – чегараловчи кучайтиргич;

КАБ – кучайишни автоматик бошқарувчи қурилма;

Чқ – чегараловчи қурилма;

²ққ – ҳал қилувчи қурилма;

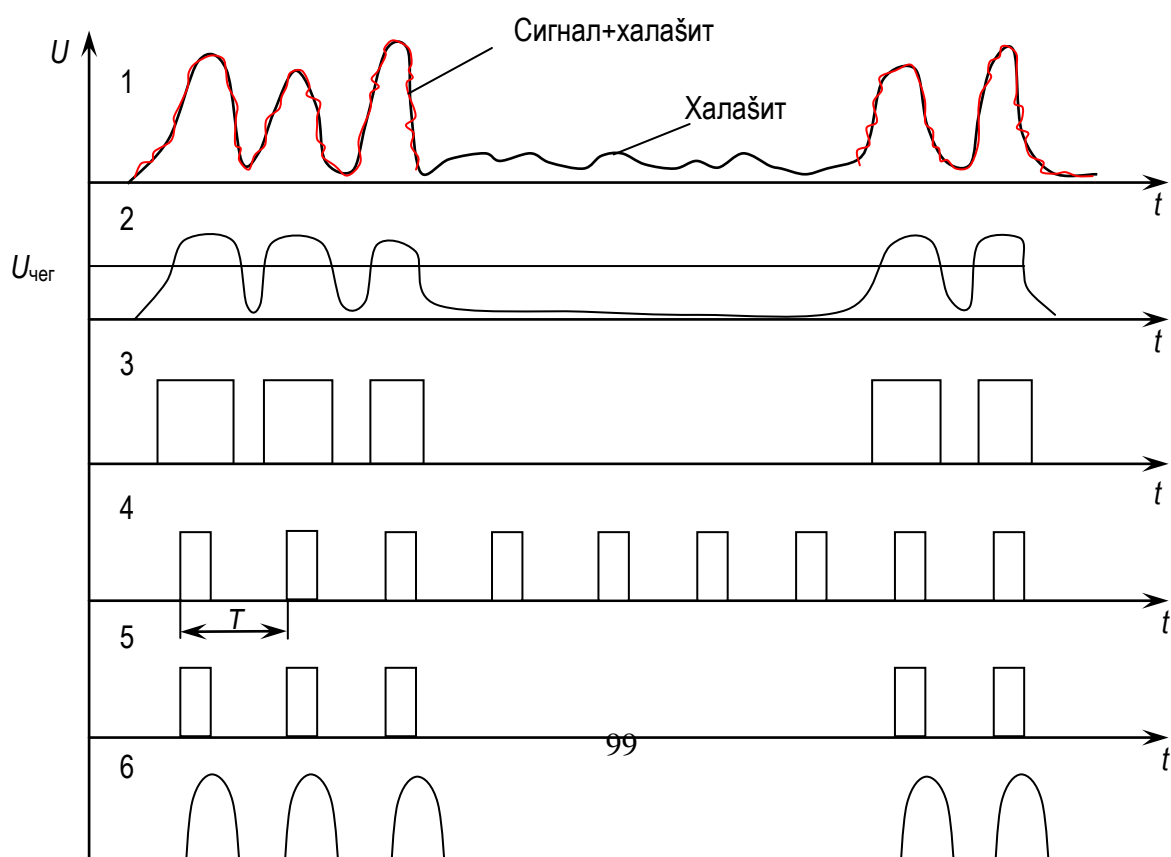
ТЧА – тактли частота ажратгич;

Шқ – шакллантирувчи қурилма.

Бу элементларнинг вазифаларини регенератор ишининг вақт диаграммасидан кўриш мумкин (7.3-расм). Бу расмдаги 1-6 сигналлар 7.2-расмда тасвирланган регенераторнинг 1-6 нуқталаридаги сигнал кўринишларидир.

Регенератор ишини кўриб чиқамиз.

ҚҚФ чиқишидан (7.1-расм) сигналлар чегараловчи кучайтиргичга (1) тушади. ЧК КАБ схемасидан iam бошқарилади. КАБ ИҚҚ ёрдамида «1» ва «0» импульсларни тўғри ҳал қилиш учун сигнал сатҳини доимийлигини кўшимча равишда сақлаб туради. ЧКда сигналлар кучайтирилади ва бузилишларни маълум бир қисмини бартараф этиш мақсадида сигналларни амплитудалари чегараланади (2). ЧК чиқишидан сигнал Чқ ва ТЧА киришига тушади. Сигнал сатҳи $U_{\text{чег}}$ дан ошсагина Чқ чиқишида сигнал юсил бўлади (3). ТЧА чиқишидан ИҚҚ киришига (4) $f_T = 1/T$ тактли частота импульсларининг даврий кетма-кетлиги узатилади, бу ерда Т-импульслар кетма-кетлиги даври.



7.3-расм. Регенератор ишини вақт диаграммаси

Агар ИҚҚ нинг биринчи киришига ЧҚ чиқишидан ахборот сигналлари кетма-кетлиги (3), иккинчи киришига тактли импульслар кетма-кетлиги (4) берилса ва улар бир-бири билан мос тушса, ИҚҚ чиқишида маълум амплитуда ва даврийликка эга импульслар юсил бөелади (5). Бу импульслар ШҚ га узатилади. ШҚда импульслар шакли төелиқ регенерацияланиб, бошланјич сигналларга мос келувчи импульслар шаклланади. Сөенг бу импульслар ЭОӨ да (7.1-расм) оптик нурланиш импульслари кетма-кетлигига өзгартирилади.

Шуни белгилаб өетиш керакки, ТЧА ишининг хатоликлари туфайли юсил бөеладиган фазалар титрашини камайтириш мақсадида ТЧА чиқишидаги импульсларнинг даврий кетма-кетлиги (4) ЧҚ чиқишидаги төөјриланган импульслар билан албатта фазалаштирилади.

Чегараловчи курилма ва чегараловчи кучайтиргич регенераторнинг асосий элементлари юсобланиб, унинг шовқиндан юмояланганлигини таъминлайди, чегаравий кучланиш ва мустаікам кучайтиришни аниқ өернатилишини талаб этади.

Чегаравий кучланишни өзгариши регенераторнинг шовқинбардошлилигини камайтиради, бу чегараловчи кучайтиргич (ЧК) чиқишидаги төөјриланган импульсларнинг максимал қиймати ва чегараловчи курилманинг чегаравий кучланиши орасидаги оптимал нисбатни бузилишига олиб келади. Бундай оптимал нисбатни доимий ушлаб туриш учун регенераторларда КАБ курилмаси қөелланилади.

Регенераторларнинг юқорида айтиб өетилган имкониятлари туфайли сигналлар төелиқ қайта тикланади, шовқинларнинг таъсир қилиши йөөқолади, алоқа сифати яхшиланади, шовқиндан юмояланганлик ошади.

7.3. Оптик кучайтиргичлар

Көөп каналли оптик тизимларни тузиш, шунингдек регенераторлар орасидаги масофани узайтиришга уриниш оптик кучайтиргичларни ривожланишига сабаб бөелди. Оптик кучайтиргичлар нолга тенг бөелмаган сијиган дисперсияли бир модали NZDSF толаларининг афзалликлари туфайли қиммат регенерациялаш тизимларини қөелламаслик имконини яратади ва оптик тола бөөйлаб узатиладиган ахборот хажмини кескин оширади.

Регенераторлардан фарқли равишда оптик кучайтиргичлар оптик сигналларни электрик сигналларга айлантириб оетирмай, кучайтиради. Кучайтиргичлар оптик сигналларни шаклини тикламайди, фақатгина кучайтиради, бунинг устига сигнал таркибига қўшимча шовқинлар қўшади. Кўп каналли оптик тизимларда ҳар бир пунктда ҳар бир оптик канал учун алоҳида талаб қилинса, бир неча оптик каналлар учун битта оптик кучайтиргич керак бўлади. Оддийлиги ва ишончилигини юқорилиги бу оптик кучайтиргичларни афзаллигидир. Шунингдек, оптик кучайтиргичларни иши узатиш тезлигига бо¹/₂лик эмас, регенераторларда эса аксинча.

Оптик кучайтиргичларни қуйидаги асосларда ишлаб чиқариш мумкин:

- ярим ўтказгичли p-n ўтиш асосида;
- аралашма оптик толалар асосида.

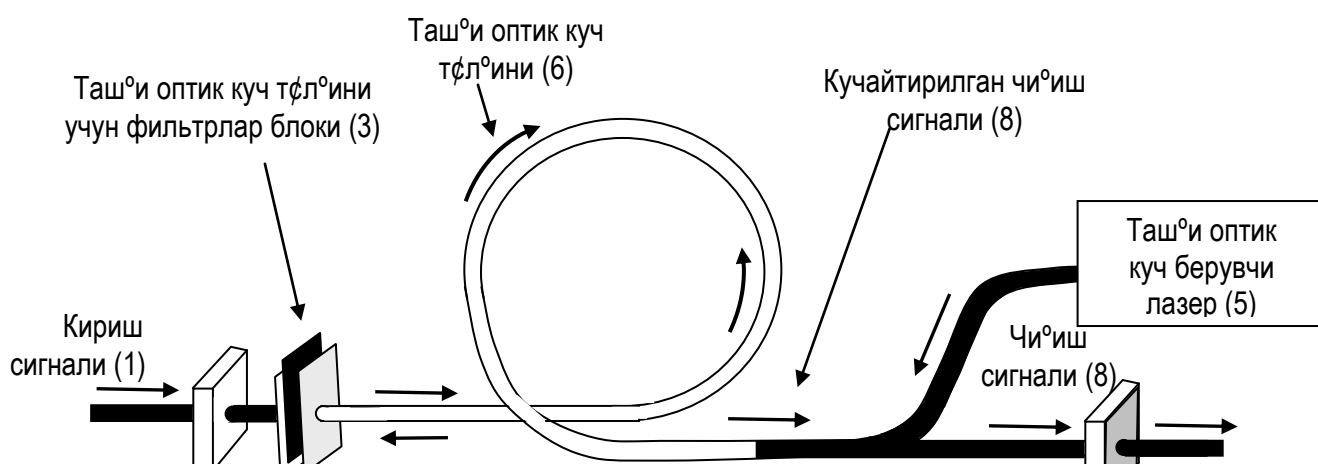
Ярим ўтказгичли лазер кучайтиргичлар икки камчилиги туфайли кенг тарқалмаган. Уларни ёру¹/₂лик нурлантирувчи актив қатлами 1 мкм қалинликка эга, бу эса ёру¹/₂лик оқимларининг ката қисмини кириш толасидан актив қатламга тушишини чегаралайди (бир модалли толаларнинг диаметри 9 мкм). Натижида оқимлар йўқолади ва фойдали кучайтириш коэффиценти камаяди. Киришдаги тола билан актив қатлам орасида линзалар жойлаштириб, кучайтиргичнинг фойдали кучайтириш коэффиценти ошириш мумкин. Лекин, бу кучайтиргич тузилишини янада мураккаблаштиради.

Шунингдек, ярим ўтказгичли кучайтиргичларнинг кучайтириши нурланиш кутбланишини йўналишига бо¹/₂лик. Оптик толада кутбланишни назорат қилишнинг иложи йўқлиги, бундай кучайтиргичларда 4-8 дБ гача йўқотишларга олиб келади. Шунинг учун ярим ўтказгичли кучайтиргичларни ёру¹/₂лик нурланиш манбалари билан биргаликда ишлаб чиқарилгандагина қўллаш керак. Бу нурланиш қувватини ошириш мақсадида қилинади.

Аралашма оптик толали кучайтиргичлар оптик сигналларни кенг спектр орал¹/₂ида кучайтирганлиги учун кўпроқ қўлланилади.

Бундай кучайтиргичлар асосини ерда кам тарқалган элементларнинг (асосан эрбий) аралашмалари билан легирланган бир модалли толалар ташкил этади. Бунда тола ўзаги аралашмалар (эрбий) билан легирланади. Оптик толани ўзи кремний ёки фтор-цирконат элементлари асосида тайёрланган бўлиши мумкин.

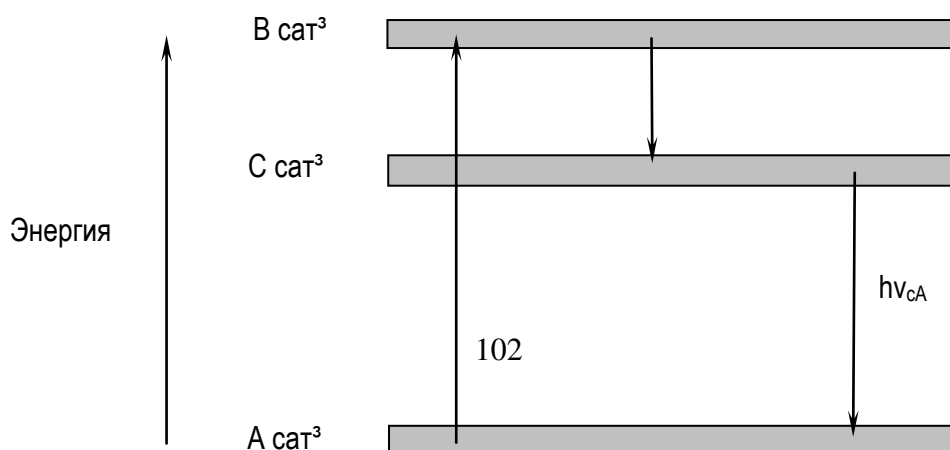
Аралашма толали оптик кучайтиргичнинг тузилиши 7.4-расмда кўрсатилган[1].



7.4-расм. Аралашма толали оптик кучайтиргичнинг тузилиши

Аралашма толали оптик кучайтиргичнинг ишлаш принципи қуйидагича: кучсиз, сўнган оптик сигналлар фақат бир йўналишда (чапдан-ўнгга) узатишни таъминловчи (тескари йўналишда узатмайдиган) оптик изолятор орқали (2) оптик филтрлар блокига келиб тушади(3). Филтрлар лазерга ташқи оптик куч бериш (накачка) частотасида ёру^{1/2}лик тарқалишини олдини олади. Сўнг оптик сигналлар катушка кўринишида ишланган тахминан 25-100 метрли аралашма толали кабел кесимига келиб тушади (4). Толанинг бу участкаси қарама-қарши томонга ўрнатилган ярим ўтказгич лазернинг (5) кучли узлуксиз нурланишига учрайди. Ташқи оптик куч берувчи лазердан ёру^{1/2}лик - ташқи оптик куч тўлқини (6) аралашмали толага узатилади. Ташқи оптик куч тўлқини аралашма атомларини кўз^{1/2}атади. Киришдаги сигналлар кучсиз бўлгани учун аралашма атомларини кўз^{1/2}алган ҳолатдан ёру^{1/2}лик нурланиши билан асосий ҳолатга индукцияланган (мажбурий) ўтиши рўй беради. Селектив тармоқлагич (7) кучайтирилган фойдали сигнални (8) чиқиш толасига (9) йўналтиради. Чиқишдаги кўшимча оптик изолятор (10) чиқишдан тескари, тарқоқ сигналларни оптик кучайтиргичнинг актив соҳасига тушишини олдини олади.

Кучайтиргичнинг актив соҳаси ўзаги аралашмалар билан легирланган бир модали тола ҳисобланади. Актив соҳага ташқи лазер орқали оптик куч берилишидан эрбий аралашмасининг уч сатҳли атом тизими ҳосил бўлади (7.5-расм) [1].



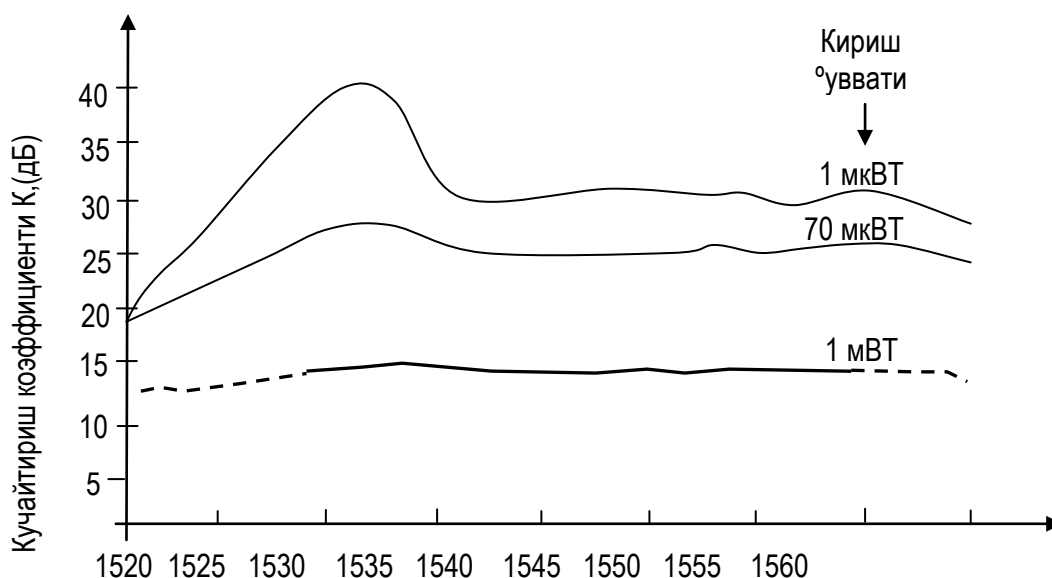
7.5-расм. Аралашма толали кучайтиргичнинг уч сатҳли атом тизимини энергетик диаграммаси

Ташқи оптик куч натижасида атомлар асосий А сатҳдан қўзғалган В сатҳга ўтади. Ташқи оптик куч бериш энергияси

$$\Delta W = hf (A * B), \quad (7.1)$$

ташқи лазернинг $\lambda = 980$ нм тўлқин узунлигига мос келади. Сўнг электронлар В сатҳдан оралиқ С сатҳга ўтади. С сатҳда электронлар етарли даражада кўп жойлашганда, тескари жараён С сатҳдан А сатҳга ўтиш бошланади. Бундай тизим маълум тўлқин узунлиги диапазонидаги кириш оптик сигналларини мажбурий кучайтириш қобилиятига эга. Кучайтиргич ишининг хусусиятлари кўпроқ аралашма турига ва сигналларни кучайтириши керак бўлган тўлқин узунлиги диапазонида бошқалиқ. Кремнийдан тайёрланган, ўзаги эрбий билан легирланган бир модали толадан иборат кучайтиргичлар кенг тарқалган. Бундай кучайтиргичлар EDFA кучайтиргичлари дейилади. EDFA кучайтиргичларнинг кучайтириш соҳаси кенг 1530 нм дан 1560 нм гача. Бу $h\nu_{CA}$ ўтишга мос келади.

Кучайтириш коэффициенти кириш сигналларини ампли-тудасига ва тўлқин узунлигига бошқалиқ. Кириш сигналларининг амплитудаси ошиши билан кучайтириш пасаяди ва чиқишдаги сигнал тўйинишга интилади (7.6-расм).



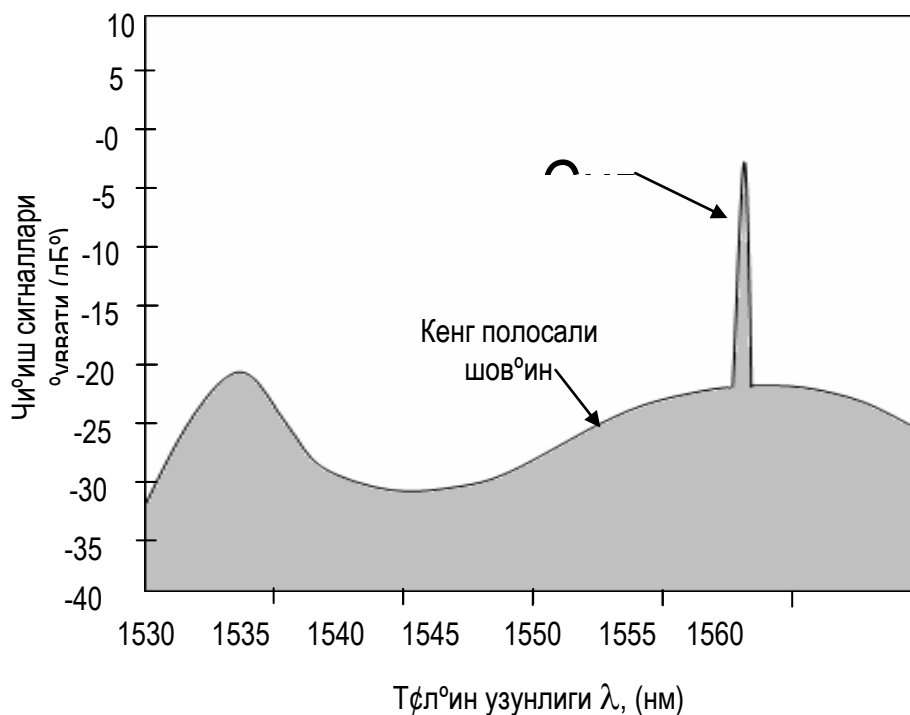
7.6-расм. Кириш оптик сигналлари қувватини турли қийматларида кремний асосидаги EDFA кучайтиргичларининг кучайтириш коэффициентини

Кучайтиришни тўлқин узунлигига бо'лиқлиги оптик канал амплитудаларини тў'риловчи эквалайзерларни ўрнатишни талаб этади.

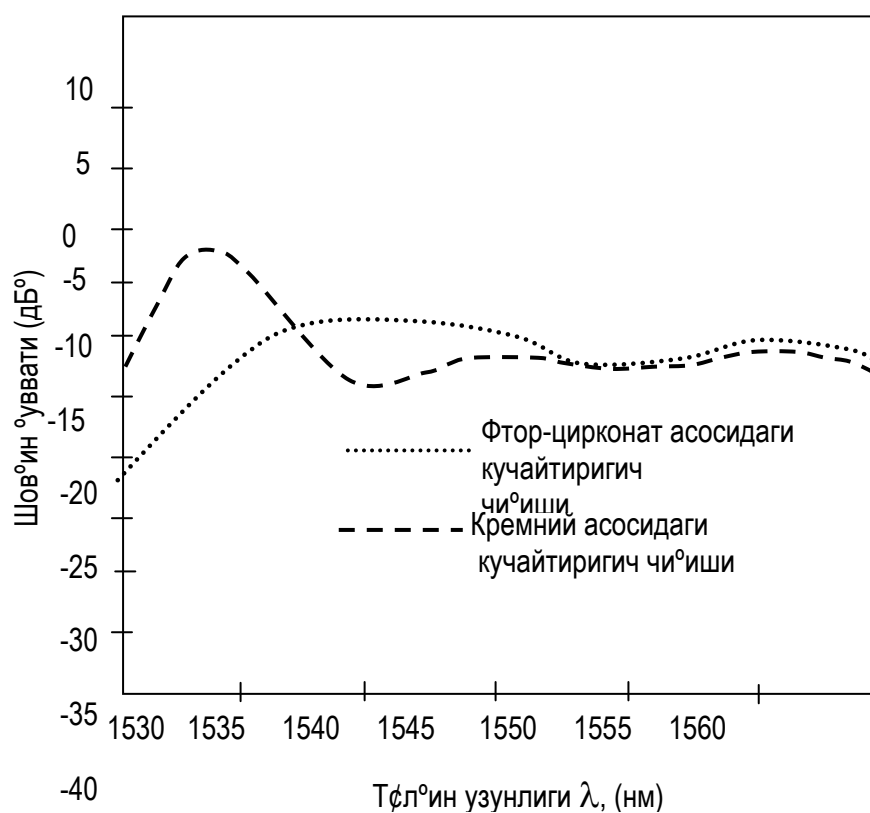
Оптик кучайтиргичларда шахсий шовқинларнинг қуввати юқори. Бу кириш оптик сигналлари бўлмаганда спонтан (тасодифий) нурланишнинг мавжудлиги билан бо'лиқ (7.7-расм).

Оптик кучайтиргичлар кучайтирилаётган сигналларга қўшимча шовқин киритади. Натижада сигнал/шовқин нисбати пасаяди, оптик кучайтиргичли оралик пунктлар сони чегараланади. Шунинг учун кучайтиргичлар билан биргаликда регенера-торларни ҳам қўллаш керак.

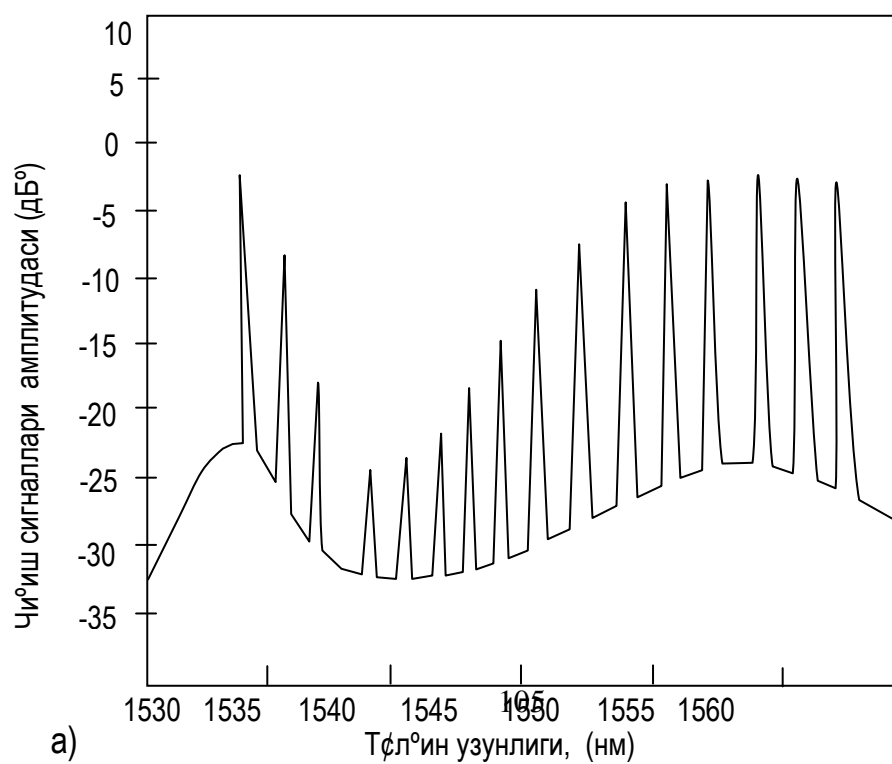
Ҳозирги кунда кремний ва фтор-цирконат асосидаги EDFA кучайтиргичлари мавжуд. Кремний асосидаги кучайтиргичларнинг кучайтириш коэффициенти турли тўлқин узунликларида бир текис эмас. Кучайтиришнинг бир меъёра эмаслиги бир оптик каналнинг бошқасига қараганда сигнал/шовқин нисбатини ёмонлашувига олиб келади (7.8-расм). Кремний асосидаги кучайтиргичларнинг сигнал/шовқин нисбати баъзи каналларда юқори (7.9а-расм), лекин айниқса 1540 нм тўлқин узунлигидаги каналларда сигнал/шовқин нисбати кичик.



7.7-расм. EDFA кучайтиргичларнинг шовқин ва чиқиш сигналлари қуввати



7.8-расм. Киришда сигнал бўлмаганда кириш шовқинлари қувватини акс эттирувчи чиқиш қувватларини эгрилиги

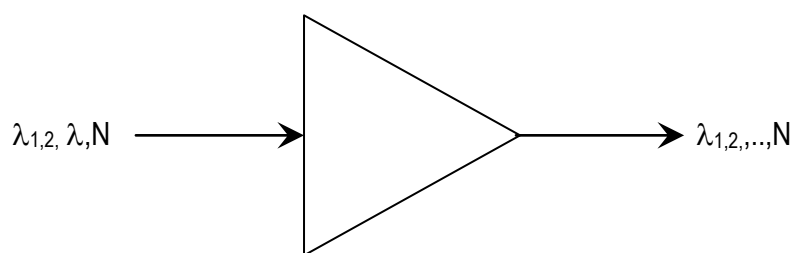


7.9-расм. Кучайтиргич киришига кучайтириш учун DWDM сигналлари берилгандаги чи^оиш ^оувватининг (сигнал ва шо^оин) эгрилиги:
а) кремний асосидаги кучай тиргичлар (1540 нм орали^{1/2}ида сигнал шов^оин нисбатини пасайиши кузатилади;
б) фтор-цирконат асосидаги кучайтиргичлар

Спектр бўйича зичлаштириладиган узатиш тизимларининг 1545 нм дан юқоридаги каналларининг шовқиндан ҳимояланганлиги юқори, бошқа 1540 нм даги каналларнинг шовқиндан ҳимояланганлиги кичик бўлади. Шовқиндан ҳимояланганлик, сигнал/шовқин нисбати бир меъёردа ўзгаришини таъминлаш учун фтор-цирконат асосидаги кучайтиргичлардан фойдаланиш керак. Фтор-цирконат асосидаги оптик кучайтиргичларнинг кучайтиришини тўлқин узунлигига бо^{1/2}лиқлик характериcтикаси текис ўзгаради.

²озирги кунда ишлаб чиқарувчилар камчиликларни йўқотиш, бундай кучайтиргичларни келгусида янада такомиллаштириш, шовқин сатҳи кичик, юқори пухталиликка эга EDFA кучай-тиргичларини ишлаб чиқариш устида иш олиб бормоқдалар.

Оптик кучайтиргичлар қуйидагича белгиланади:



7.10-расм. Оптик кучайтиргичларнинг белгиланиши

Оптик кучайтиргичлар сигналлар фақат оптик технологиялар асосида қайта ишланадиган тўлиқ оптик тизим ва оптик тармоқларда қўллашга мўлжалланган.

Тўлқин (спектр) бўйича мультиплексорлаш WDM (Wavelength Division Multiplexing) ва зич тўлқин бўйича мультиплексорлаш DWDM (Dense Wave Division Multiplexing) технологиялари кўп каналли оптик тизимларни ҳосил қилиш имкониятини яратмоқда. DWDM технологиясида сигналлар кучайтириш соҳаси 1530-1560 нм бўлган оралиқда узатилади. Оптик каналлар ўртаси-даги оралиқ масофа 3,2/1,6/0,8/0,4 нм бўлади. Бундай оралиқ масофада бир неча ўнлаб оптик каналларни (80 гача) жойлаш-тириш мумкин.

Бундай тизимларда қўлланиладиган оптик кучайтиргичлар қуйидаги параметрлар орқали аниқланади:

1. Тўйиниш қуввати $P_{\text{т.чик}}$ -максимал чиқиш қувватини аниқлайди.
Максимал қувват 36дБк (4 Вт)дан ошиши мумкин.
2. Кучайиш коэффициенти:

$$g = 10 \lg P_{\text{с. чик}} / P_{\text{с. кир}}, \quad (7.2)$$

бу ерда, $P_{\text{с. чик}}$ - чиқиш сигналининг қуввати;

$P_{\text{с. кир}}$ - кириш сигналининг қуввати

Кучайиш ≈ 40 дБ гача етиши мумкин.

3. Шовқин-фактор NF кучайтиргич киришидаги сигнал/шовқин нисбатини чиқишдаги сигнал/шовқин нисбати орқали аниқланади:

$$NF = (P_{\text{с. кир}} / P_{\text{шов. кир}}) / (P_{\text{с. чик}} / P_{\text{шов. чик}}). \quad (7.3)$$

$$NF = 5-6 \text{ дБ.}$$

Оптик кучайтиргичлар вазифасига қараб дастлабки, линия ва қувват кучайтиргичларига бўлинади.

Дастлабки кучайтиргичлар регенератор киришида ўрнатилади ва сигнал/шовқин нисбатини оширишга ёрдам беради.

Линия кучайтиргичлари сигнал бузилишларини бартараф этиш зарурияти бўлмаса, регенераторлар ўрнини босиши мумкин.

қувват кучайтиргичлари лазер узатгичларнинг чиқишида ўрнатилади ва оралиқ кучайтириш пунктлари орасидаги масофани узайтиришга ёрдам беради.

7.4. Толали оптик алоқа рақамли тизимларининг линия кодлари

Линия кодининг параметрлари оптик тола параметрлари билан мослашган бўлиши керак. Рақамли электр импульслар оптик нурланиш (оптик ташувчи) жадаллиги ёки қувватини модуляциялаб, рақамли оптик сигналларнинг линия кодини шакллантиради. Оптик линия коди электр линия кодларидан фарқли равишда бир қутбли бўлади.

Оптик линия кодларига бир қатор талаблар қўйилади:

1. Рақамли ТОА тизимлари линия кодларининг тузилиши тактли синхронизация импульсларини шакллантириш учун рақамли сигнал таркибидан тактли частотани осонгина ажратиб олишни таъминлаши керак.
2. Линия кодининг тузилиши алоқани узмасдан линия тракти қурилмалари созлигини назорат қилишни, узатиш сифатини ва юқори шовқин бардошлиликни таъминлаши керак.
3. Шовқин ва дисперсия бузилишларини камайтириш учун оптик линия кодининг энергетик спектри иложи борица тор бўлиши керак. Спектр орали $\frac{1}{2}$ и қанча кенг бўлса, шовқин сатҳи шунча ортади ва аксинча.
4. Линия кодининг энергетик спектри таркибида доимий ташкил топувчилар бўлмаслиги керак. Бу ТОА тизимлари линия тракти қурилмаларининг кучланиш таъминотини юқори аниқликда ўрнатиш кераклиги билан тушинтирилади. Символлараро ҳалақитларни камайтириш мақсадида паст частотали соҳаларда частота орали $\frac{1}{2}$ и чегараланган бўлиши керак.
5. Шунингдек, символлараро ҳалақитларни камайтириш учун энергетик спектри юқоридан чегараланган бўлиши зарур.
6. Оптик линия коди кодер ва декодер қурилмалари соддалашувини таъминлаши керак.

Юқорида келтирилган талабларнинг тўлиқ ҳажмдаги йи $\frac{1}{2}$ индисига ҳеч қайси код жавоб бермайди. Шунинг учун қўйиладиган талабларга бо $\frac{1}{2}$ лик ҳолда ТОА тизимларида турли кодлардан фойдаланилади.

ТОА тизимлари аппаратураларида қўлланиладиган бошлан $\frac{1}{2}$ ич код NRZ (non return to zero – нолга қайтмаслик) коди ҳисобланади. NRZ кодининг спектрида тактли частотанинг дискрет ташкил этувчиларини бўлмаслиги сабабли тактли частота ажратгич қурилмаси мураккаблашади ва регенераторнинг қабул қилиш қурилмаларини синхронизацияси қийинлашади.

Барча оптик кодлар блок кўринишида бўлиб, уларда бошлан $\frac{1}{2}$ ич NRZ кодининг ҳар бир “m” импульсидан линия оптик кодининг “n” импульси шаклланади. Бунда ҳар доим $n > m$ бўлиб, ортиқча импульслар линияга

узатилади. Бу линия кодида ортиқлик дейилади. Бундай код mBnB деб белгиланади, бу ерда “В” (Binary – иккилик) бошлан¹/₂ич ва линияга узатиладиган кодларни иккилик коди эканлигини билдиради. Линия коди бошлан¹/₂ич кодни узатишга кетадиган вақтда узатилиши керак. Сигналларни линияга узатиш тезлиги

$$B = f_{\text{л}} \cdot \frac{n}{m} \cdot f_{\text{м}}, \quad (7.4)$$

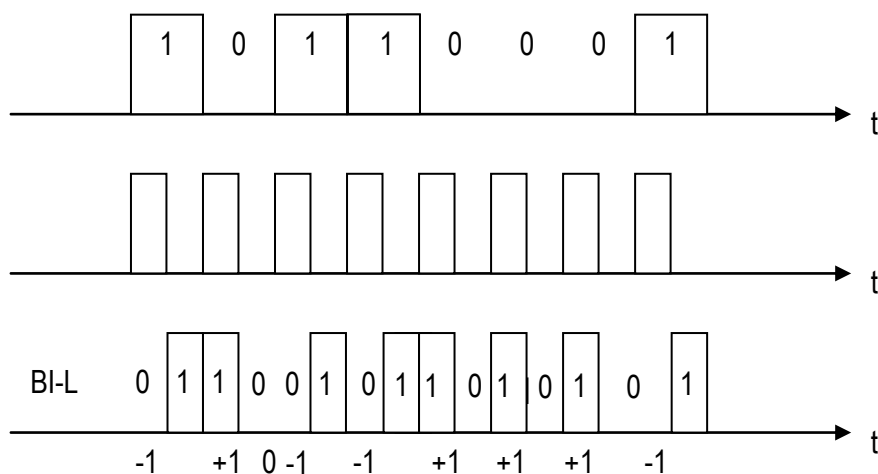
бу ерда $f_{\text{л}}$ – линия коди импульсларининг кетма – кетлик частотаси;

$f_{\text{м}}$ -бошлан¹/₂ич код импульсларининг кетма–кетлик частотаси.

Бунда шуни алоҳида белгилаб ўтиш керакки, узатиш тезлиги ошиши билан линия коди n импульсларининг ортиқлиги камайиши керак. Чунки узатиш тезлиги ортиши билан аппаратуралар мураккаблашади ва линияда дисперсия ошади. Турли оптик кодларни кўриб чиқамиз.

1B2B кодлар. Бу синфдаги кодлар содда бўлиб, бошлан¹/₂ич кодларга нисбатан линияга узатиладиган импульслар сони 2 марта ошиқ. BI-L (абсолют биимпульс) коди ҳам 1B2B синфдаги кодларга киради. BI-L кодининг шаклланиши 7.11–расмда кўрсатилган. Расмдан кўриниб турибдики, бошлан¹/₂ич NRZ кодидаги ноллар ўрнига BI-L кодида бир ва ноллар алмашилиб, кетма – кет узатилади. Бу билан шовқиндан ҳимояланганлик ортади.

1B2B кодларидан энг кўп қўлланиладигани CMI кодидир. CMI коди филтър ёрдамида тактли частотани ажратиш имкониятига эга бўлган оддий коддир. Бундай имконият ярим тактли $1,5 \cdot f_{\text{м}}$ частотада энергетик спектрнинг максимал эканлигига бо¹/₂лиқ. Бундай кодларда бошлан¹/₂ич «1» симболи 11 ва 00 блоки кўринишида, бошлан¹/₂ич «0» симболи эса 01 (ёки 10) кўринишида кодланади. 11 ва 00 навбатма – навбат ўзгариши хатоликларни аниқлашга ёрдам беради.



7.11-расм. NRZ дан BI-L кодига ўзгартириш

2B4B кодлари. Бу синфдаги кодга ПИМ позицион – импульс модуляцияли код киради. Бунда бошлан¹/₂ич 00, 01, 10, 11 кодлардан мос равишда 1000, 0100, 0010, 0001 линия кодлари шаклланади (7.1-жадвал).

7.1-жадвал

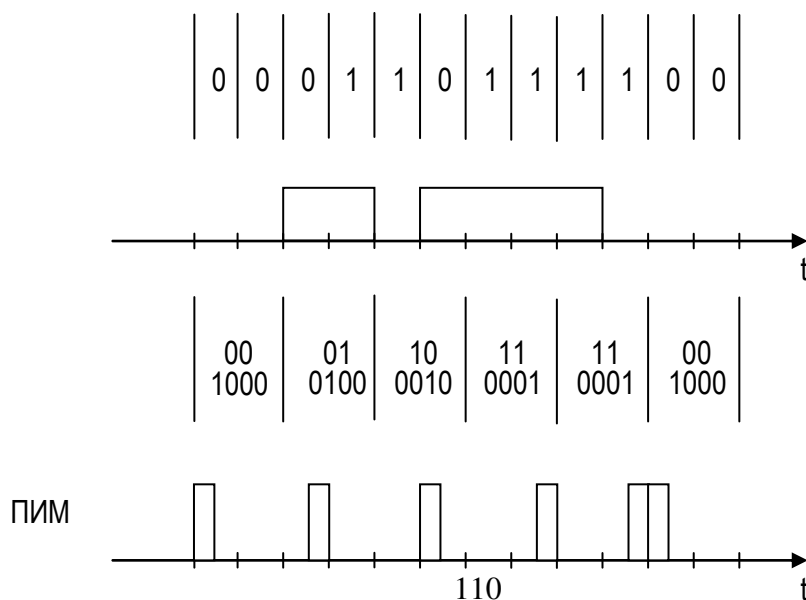
2B4B кодини шаклланиши

Бошлан ¹ / ₂ ич код	Линия коди
00	1000
01	0100
10	0010
11	0001

ПИМ кодининг шаклланиши 7.12 – расмда берилган.

1B2B синфдаги кодлардан ПИМ кодининг афзаллиги шундаки, унда «1» символларининг сони 2 марта кам ва мос равишда линияга узатишнинг ўртача қуввати камаяди. Бундан биринчи навбатда нурланиш манбаларининг ишончилиги ошади ва қувват кам сарф этилади.

Тўртта узатилаётган символлардан фақат биттаси «1» симболи бўлганлиги сабабли синхронизация мукаммаллашади. 1B2B, 2B4B синфдаги кодларда m импульсга қараганда n импульслари 2 марта кўплиги сабабли бундай кодлар тезлиги 100 Мбит/с дан ошмайдиган тизимларда қўлланилади.



7.12-расм. ПИМ кодининг шаклланиши

3В4В, 5В6В кодлари. Бу кодларда битта ортиқча разряднинг киритилиши, кам разрядлар сонидан иборат бошлан¹/₂ич комбинацияларни кўп разрядлар сонидан иборат синхронизация учун қулай нол ва бирларнинг бирикмаси кўринишидаги комбинациялар билан алмаштириш имконини яратади. Буни 5В6В коди мисолида кўриб чиқамиз. Бошлан¹/₂ич блоки 5 разряддан ташкил топган. Битта разряддан мумкин бўлган комбинациялар сони $2^5=32$ га тенг. Бу комбинациялар ичида синхронизация учун унчалик самарали бўлмаган нол ёки бирлар серияси кетма–кет келувчи (масалан 00000, 00001, 11111 ва бошқа) комбинациялар ҳам мавжуд. Агар уларни 6 разрядли блокка алмаштирсак, мумкин бўлган комбинациялар $2^6=64$ та бўлади ва улардан синхронизацияни таъминлаш нуқтаи назаридан бир ва ноллар сони қулай бўлган 32 та комбинацияни ажратиб олиш мумкин.

7.2-жадвалдан кўриниб турибдики, бир ва ноллар сони тенг бўлган, 6 разрядли 20 та комбинация мавжуд, қолган 12 комбинация иккита бир ва тўртта нолдан ёки тўртта бир ва иккита нолдан иборат комбинациялар навбатма-навбат узатилади. Бу билан бирлар зичлигининг доимийлиги таъминланади. Бу кодларда хатоликларни топиш, 5В6В кодига таълуқли бўлмаган 6 разрядли комбинацияларни аниқлаш билан бо¹/₂лик.

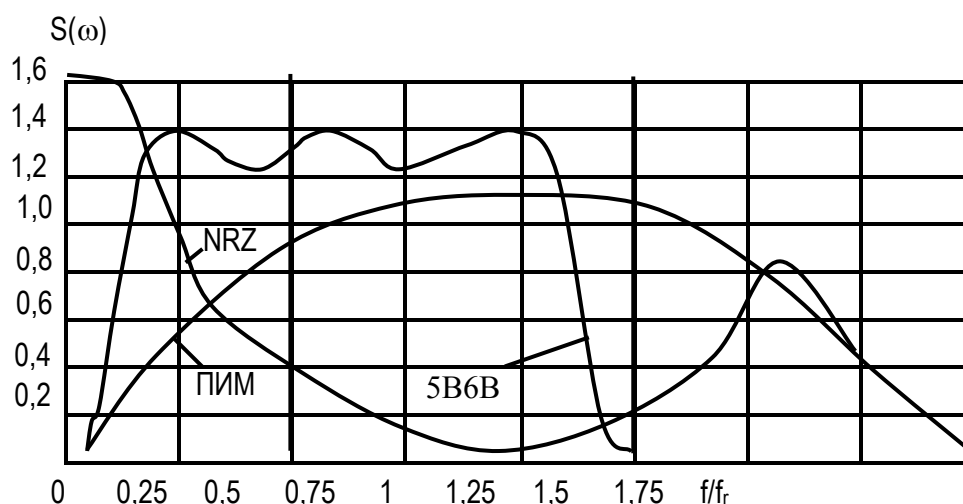
7.2-жадвал

5В6В синфини кодли комбинациялари

Чиқиш блоки	код 5В6В	Чиқиш блоки	код 5В6В
00000			
00001	101011 100010	10000	100011
00010	101010	10001	110101 000101
00011	101001	10010	111001 001001
	111000(+) 101000	10011	001101
00100		10100	110011 010001
00101	110010	10101	010101
00111	111010 001010	10110	110001
01000	001011	10111	011101 011000

01001	011010	11000	100111	100001
01010	100110	11001	100101	
01011	101110	11010	011001	
01100	101100	11011	101101	001100
	110100	111000	010011	
01101	110110	11101	010111	
01110			010111(-)	
01111	001110			
	010110	11110	011011	010010
	011110	11111	011100	

1B2B, 2B4B кодларига нисбатан 5B6B коднинг энергетик спектри тор, бу унинг энг муҳим афзаллиги ҳисобланади. 5B6B, ПИМ, NRZ кодларининг энергетик спектрлари 7.13-расмда тасвирланган.



7.13-расм. Турли оптик линия кодларни спектрлари

10B12B, 40B48B кодлари. Бу кодларда ортиқча разрядлар синхронизацияни таъминлаш ва хатоликларни текшириш мақсадида киритилади (7.14-расм).

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

а)

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

б)

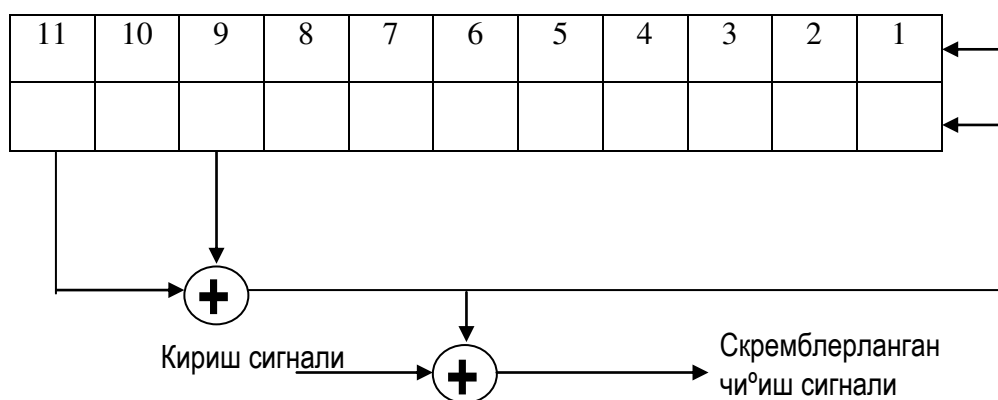
7.14-расм. 10B 1R 1P турдаги линия кодини шаклланиш схемаси:

а - бошлан¹/₂ич NRZ коди;

б - 10B 1R 1P линия коди

Хатоликлар мавжудлиги Р разради ёрдамида текширилади. Бу назорат симболи бошлан¹/₂ич блокни жуфтликка текшириш учун хизмат қилади. Агар NRZ коди бошлан¹/₂ич блокнинг йи¹/₂индиси жуфт сонни берса, Р разрядига «0» симболи, аксинча бўлса «1» симболи берилади. Шу тарзда узатишда бирламчи хатоликни аниқлаш имконияти юзага келади. қўшимча R симболи 1 кўринишида синхронизация учун киритилади ва шунингдек у орқали берилган блокнинг чегарасини аниқлаш мумкин. 10B 12B коди баъзан 10B 1R 1P деб белгиланади.

Скремблерлаш – бу янги кодни яратишни яна бир имкониятидир. Бунда линия коди символларни бошлан¹/₂ич код символларига нисбатан ортиқ бўлишига зарурият мавжуд эмас. Албатта, бундай кодлаш ўзининг тежамкорлиги туфайли юқори тезликли тизимларда, асосан STM-N тизимларида қўлланилади.



7.15-расм. Скремблерни иши

Скремблерлашда бошлан¹/₂ич код, бир ва нолларнинг узатиш зичлиги тахминан тенг бўлган кодларга алмаштирилади, бу қабул қилишда синхронизация мувозанатини таъминлайди. Узатишда хатоликларни аниқлашга келсак, бундай мақсадлар учун цикл сарлавҳаси (фрейм) қўлланилади. Бунда циклдаги барча ахборот скремблерланади. Скремблерлаш қурилмасининг иши асосида бир ва ноллар квазитасодикий кетма–кетлигининг генератори сингари сурувчи регистрни қўллаш ётади. Квазитасодикий кетма–кетликларни олиш учун сурувчи регистрда икки модули бўйича алоҳида ячейкаларни қўшиш қўлланилади. Биринчидан бунда ҳар бир циклда сурувчи регистрга киритилган ҳар қандай кетма – кетликдан

(«0» дан ташқари) тактдан тактга ўзгарувчи нол ва бирлар кетма – кетлиги шаклланади. Бу сигналлар бошлан^{1/2}ич сигнал билан қўшилганда, линияга скремблерланган сигнални бериш ва худди шундай скремблерлаш қурилмасида, худди шундай сурувчи регистрда бир хил лахзада қўчирилган бошлан^{1/2}ич кетма– кетликлардан (линия тракти бўйлаб узатиладиган сигнални вақт бўйича кечикишини назарда тутган ҳолда) қабул қилувчи қисмда бошлан^{1/2}ич сигнални қайта тиклаш имконини беради.

Скремблерлашнинг яна қўшимча афзаллиги шундаки, узатиладиган ахборотларнинг махфийлиги сақланади.

АДАБИЁТЛАР

1. Убайдуллаев Р.Р. Волоконно–оптические сети-М.: Эко– Трендз, 2000.
2. Волоконно – оптические системы передачи: учебник для высших учебных заведений / М.М. Бутусов, С.М. Верник, С.Л. Галкин, В.Н.

- Гомзин, Б.М. Машковцев, К.Н. Щелкунов; Под ред. В.Н. Гомзина.—М.: Радио и связь, 1992.
3. Гальярди Р.М., Карп Ш. Оптическая связь: Перевод с английского С.М. Бабия под ред. А.Т. Шереметьева.—М.: Связь, 1978.
 4. Оптические системы передачи: Учебник для вузов/Б.В. Скворцов, В.И. Иванов, В.В. Крухмалев и др.; Под ред. В.И. Иванова.—М.: Радио и связь, 1994.
 5. Цифровые и аналоговые системы передачи: Учебник для вузов/ В.И. Иванов, В.Н. Гордиенко, Г.Н. Попов и др.; Под ред. В.И. Иванова.- 2-е изд. —М.: Горячая линия – Телеком, 2003.
 6. Фриман Р. Волоконно—оптические системы связи: Перевод с английского под ред. Н.Н. Слепова.—М.: Техносфера, 2003.
 7. Власов И.И., Птичников М.М. Измерения в цифровых сетях связи. М.: Постмаркет, 2004.
 8. Слепов Н.Н. Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи:—М.: Радио и связь, 2000.
 9. Васильев В.Н. Волоконно—оптические световоды: учебное пособие, ТУИТ, Ташкент, 2002.
 10. Вишневецкий А.Г. Телекоммуникационные системы передачи (часть вторая); конспект лекций, ТУИТ, Ташкент, 2004.

МУНДАРИЖА

КИРИШ.....	3
1. ОПТИК АЛОҚА ²АҚИДА АСОСИЙ ТУШУНЧАЛАР	
1.1 Оптик алоқа, унинг афзалликлари ва қўлланиш соҳалари.....	6
1.2. ОА тизимларининг тузилиш принциплари.....	9

1.3. ОА тизимларининг классификацияси ва икки томонлама ТОА ни тузиш усуллари.....	12
1.4. ТОА линияларини зичлаштириш усуллари.....	15
2. ОПТИК ТОЛА ВА ТОЛАЛИ ОПТИК КАБЕЛЛАР	
2.1. Оптик алоқа узатиш каналлари.....	20
2.2. Оптик нур оётаказувчилар ва уларни турлари.....	21
2.3. Оптик тола бёйлаб ёруғлик нурининг тарқалиши.....	23
2.4. Оптик тола турлари ва уларнинг тавсифлари.....	26
2.5. Оптик толани асосий параметрлари.....	32
2.5.1. Сёениш.....	32
2.5.1.1. Толанинг шахсий ёёқотишлари.....	33
2.5.1.2. Кабел ёёқотишлари.....	34
2.5.2. Дисперсия.....	37
2.5.2.1. Модалараро дисперсия.....	38
2.5.2.2. Хроматик дисперсия.....	39
2.5.2.3. Материал дисперсияси.....	39
2.5.2.4. Тёёлкин оётаказувчи тола дисперсияси.....	40
2.5.2.5. кутбланган мода дисперсияси.....	41
2.5.3. Дисперсияни камайитириш усуллари.....	43
2.6. Толали оптик кабеллар.....	44
3. ПАССИВ ОПТИК ҚУРИЛМАЛАР	
3.1. Пассив оптик қурилмалар ва уларнинг асосий параметрлари..	45
3.2. Нурланишни киритиш ва чиёариш ёурилмалари.....	46
3.3. Ажраладиган ва ажралмайдиган оптик улагичлар.....	47
3.3.1. Ажраладиган оптик улагичларни тузилиши.....	48
3.3.2. Оптик толаларни ажралмайдиган улашлар.....	49
3.4. Оптик тармоелагичлар.....	50
3.5. Оптик мультиплексор ва демультимплексорлар.....	52
3.6. Оптик аттенюаторлар.....	53
3.7. Оптик изоляторлар.....	54
3.8. Оптик фильтерлар.....	56
4. ОПТИК СИГНАЛНИ УЗАТУВЧИ НУРЛАНИШ МАНБАЛАРИ	
4.1. Оптик нурланиш манбаларига кёёйиладиган талаблар.....	58
4.2. Оптик сигнални узатувчи когерент ва нокогерент нурланиш манбаларининг ишлаш принциплари.....	59
4.3. Ёруғлик нурлантирувчи диодлар, уларнинг турлари ва тавсифлари.....	64
4.4. Лазер диодлар.....	70
4.4.1. Кёеп модали ёки Фабри-Перс резонаторли лазерлар.....	71
4.4.2. Бир модали лазерлар.....	73
4.4.3. Тақсимланган тескари алоқали ярим оётаказгич лазерлар.....	73
4.4.4. Тақсимланган брэгг акс этишли лазерлар.....	74

4.4.5. Ташқи резонаторли лазерлар.....	74
4.5. Оптик сигнални узатувчи модулар.....	75
5. ОПТИК СИГНАЛНИ ФОТО ҚАБУЛ ҚИЛГИЧЛАРИ	
5.1. Фото қабул қилгичлар ва уларнинг асосий параметрлари.....	76
5.1.1. p-i-n фотодиодлар.....	80
5.1.2. Көчкисимон фотодиодлар.....	81
5.2. Оптик сигнални қабул қилувчи модулар.....	83
6. ОПТИК НУРЛАНИШНИ МОДУЛЯЦИЯ ВА ДЕМОДУЛЯЦИЯСИ	
6.1. Оптик нурланишни модуляциялаш усуллари.....	85
6.2. Төғри модуляция ва демодуляция.....	85
7. ТОЛАЛИ ОПТИК РАҚАМЛИ АЛОҚА ТИЗИМЛАРИНИНГ ЛИНИЯ ТРАКТИ	
7.1. Рақамли тизимларнинг толали оптик линия тракти.....	96
7.2. Регенераторлар. Оптик сигналларни регенерациялаш.....	96
7.3. Оптик кучайтиргичлар.....	101
7.4. Толали оптик алоқа рақамли тизимларининг линия кодлари.....	108
АДАБИЁТЛАР.....	115

Оптик алоқа асослари
їуў ыфланма

“Телекоммуникация технологиялари”
факультети услубий кенгашида кыриб чиылган
ва нашрга тавсия этилган
15 июн 2006 йил 10-сон баённомаси

Муаллиф:

Миразимова Г.Х.

Масъул мухаррир:

Исаев Р.И.

Мусаххих:

Матнни терувчилар:

Хорунов Ж.Б.
Джураев К.С.
Исроилов Л.Т.