

ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ОЛИЙ ВА ЎРТАМАХСУС ТАЪЛИМ
ВАЗИРЛИГИ

«ЎЗБЕКИСТОН ТЕМИР ЙЎЛЛАРИ» ДАВЛАТ АКЦИОНЕРЛИК ТЕМИР
ЙЎЛ КОМПАНИЯСИ

ТОШКЕНТ ТЕМИР ЙЎЛ ТРАНСПОРТИ МУХАНДИСЛАРИ ИНСТИТУТИ

Қўлёзма ҳуқукида

УДК 621.395.34

Алиев Р.Б.

«Тола – оптикали алоқа линиялари»

5A311301—«Ахборот узатиш тизимлари ва қурилмалар» мутахассислиги

Магистерлик илмий унвони учун
диссертация

Илмий раҳбар
Т.ф.д.,проф. Халиков А.А.

Тошкент-2018

МУНДАРИЖА

КИРИШ	3
1. ОПТИК АЛОҚА ХАҚИДА АСОСИЙ ТУШУНЧАЛАР	10
1.1. Оптик алоқа, унинг афзалликлари ва қўлланиш соҳалари	10
1.2. ОА тизимларининг тузилиш принциплари	14
1.3. ОА тизимларининг классификацияси.....	18
1.4. ТОА линияларини зичлаштириш усуллари	22
1-боб бўйича хулоса	30
2. ОПТИК ТОЛА ВА ТОЛАЛИ ОПТИК КАБЕЛЛАР	31
2.1. Оптик алоқа узатиш каналлари	31
2.2. Оптик ёруғлик ўтказгичлар ва уларни турлари	32
2.3. Оптик тола бўйлаб ёруғлик нурининг тарқалиши.....	36
2.4. Оптик тола турлари ва уларнинг тавсифлари	40
2.5. Оптик толани асосий параметрлари.....	47
2.5.1. Сўниш.....	47
2.5.1.1. Толанинг шахсий йўқотишлари	48
2.5.1.2. Кабел йўқотишлари	50
2.5.2. Дисперсиялар (Модалараро дисперсия, Хроматик дисперсия, Материал дисперсияси, Тўлқин ўтказувчи тола дисперсияси, Қутбланган мода дисперсияси)	53
2-боб бўйича хулоса	58
3. ОПТИК НУРЛАНИШНИ МОДУЛЯЦИЯ ВА ДЕМОДУЛЯЦИЯСИ ..	59
3.1. Оптик нурланишни модуляциялаш усуллари	59
3.2. Тўғри модуляция ва демодуляция.....	60
3-боб бўйича хулоса.....	72
Хулосалар.....	73
Адабиётлар.....	74
Иловалар.....	75

КИРИШ

2017–2021 йилларда Ўзбекистонни ривожлантириш ҳаракатлар стратегиясининг бешта устувор йўналишидан:

Таълим ва фан соҳасини ривожлантириш:

- узлуксиз таълим тизимини янада такомиллаштириш йўлини давом эттириш, сифатли таълим хизматлари имкониятларини ошириш, меҳнат бозорининг замонавий эҳтиёжларига мувофиқ, юқори малакали кадрлар тайёрлаш;
- таълим муассасаларини қуриш, реконструкция қилиш, капитал таъмирлаш, уларни замонавий ўқув-лаборатория ускуналари, компьютер техникаси ва ўқув-методик қўлланмалар билан жиҳозлаш бўйича ишларни амалга ошириш орқали уларнинг моддий-техника базасини мустаҳкамлаш юзасидан аниқ мақсадга қаратилган чора-тадбирларни кўриш;
- мактабгача таълим муассасалари тармоғини кенгайтириш, болаларнинг ҳар томонлама интеллектуал, эстетик ва жисмоний ривожланиши учун ушбу муассасаларидаги шарт-шароитларни тубдан яхшилаш, болаларнинг мактабгача таълим билан қамраб олинишини жиддий ошириш ва унинг қулайлигини таъминлаш, педагог ва мутахассисларнинг малака даражасини юксалтириш;
- умумий ўрта таълим сифатини тубдан ошириш, чет тиллар, информатика ҳамда математика, физика, кимё, биология каби бошқа муҳим ва талаб юқори бўлган фанларни чуқурлаштирилган тарзда ўрганиш;
- болаларни спорт билан оммавий тарзда шуғулланишга, уларни мусиқа ҳамда санъатга жалб қилиш мақсадида янги болалар спорт объектларини, болалар мусиқа ва санъат мактабларини қуриш, мавжудларини реконструкция қилиш;

- касб-хунар коллежлари ўқувчиларини бозор иқтисодиёти ва иш берувчиларнинг эҳтиёжларига жавоб берадиган мутахассисликлар бўйича тайёрлаш ҳамда ишга жойлаштириш борасидаги ишларни такомиллаштириш;
- таълим ва ўқитиш сифатини баҳолашнинг халқаро стандартларини жорий этиш асосида олий таълим муассасалари фаолиятининг сифати ҳамда самарадорлигини ошириш, олий таълим муассасаларига қабул квоталарини босқичма-босқич кўпайтириш;
- илмий-тадқиқот ва инновация фаолиятини рағбатлантириш, илмий ва инновация ютуқларини амалиётга жорий этишнинг самарали механизмларини яратиш, олий ўқув юртлари ва илмий-тадқиқот институтлари ҳузурида ихтисослаштирилган илмий-экспериментал лабораториялар, юқори технология марказлари ва технопаркларни ташкил этиш.

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 ҳужжат 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 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 мукамал ва истиқболли алоқа воситаси ҳисобланади.

Фотон технологияси асосидаги оптик алоқа (ОА), яъни толали оптик тармоқлар AON (All-optical Networks) телекоммуникация тармоқларини келажаги хисобланади. Толали оптик алоқа магистрал тармоқларни, шунингдек абонентларни тармоққа уланишини камраб, мижозларни телекоммуникация тармоқларига кенг поласали уланишларни таъминлайди. Фотон технологияси асосидаги толали оптик алоқада коммутация, мультиплексорлаш ва регенерациялаш оптоэлектрон ёки электрооптик эмас, балки фақат оптик технология асосида амалга оширилади. Бу билан қурилмани 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 алоқани ривожланиш тарихига назар ташласак, шунини айтиб ўтиш жоизки, цивилизацияни бошланғич даврларида ҳам инсон ахборотларни узоқ масофаларга узатишда оптик сигналлардан фойдаланган. Бунинг учун кундуз кунини 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 охири телефон ва телеграф радиоалоқаси билан алмашди.

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

Фан-техника, квант физикаси, оптоэлектроника бўйича эришилган ютуқлар, оптик квант генераторларини (лазерларни) яратилиши билан оптик алоқани ривожланишини замонавий даври бошланди.

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

70-йилларда кварц шиша материалдан олинган тола нурни ютувчи қўшимчаларни олиб ташлаш йўли билан сўниш қийматларини камайтириш усули яратилди ва 1979 йилга келиб, оптик толани сўниш қийматларини 0,2 дБ/км гача камайтириш мумкинлиги аниқланди. ҳозирги кунда нафақат сўниш қийматлари, балки спектр бўйича зичлаштирилган тизимларни 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.

Ҳар бири 20 Гбит/с тезликли 55 та канални мультиплексорлаб, 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 август Вазирлар Маҳкамаси томонидан қабул қилинган «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) магистралини жаҳон стандартларига мос келувчи, рақамли транспорт тармоғини Миллий сегментини қуриш бошланди ва узунлиги 830 км дан ошиқ 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 узунликли ҳудудий ТОО линияси қурилди ва фойдаланишга топширилди.

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

2001 йилда ЕДСФ (Корея) лойиҳаси асосида Андижон ва Фарғона вилоятларини ҳудудий телекоммуникация тармоқларини қайта таъмирлаш

амалга оширилди. Лойиҳа натижасида умумий узунлиги 354 км бўлган ҳудудий ТОА линияси қурилди.

Ҳозирда ташқи иқтисодий бирдамлик Япония банки кредити ҳисобига Фарғона водийсини учта вилоятини ҳалқали тармоқларини қуриш, кашкадарё, Сирдарё вилоятларида ҳалқали ҳудудий телекоммуникация тармоқларини қуриш, Бухоро-Нукус участкасида ТОА линиясини Бухоро-Навои-Зарафшон-Учқудуқ-Нукус ТОА линияси орқали резервлаш ишлари амалга оширилмоқда. Бу лойиҳа доирасида 2000 км магистрал, 700 км ҳудудий ТОА линияларини қуриш назарда тутилган.

Бу лойиҳа ўз-ўзини тикловчи ҳалқа тузилиши ва рақамли узатиш тизимларини қўллаш асосида канал ва трактларни заҳирасини таъминлайди, натижада алоқа тармоқларини ишончлилиги 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 технологияларини ҳаётга тадбиқ этилиши, Фан техникани жадал ривожланиши билан билимларни тезда янгилашиши ўқувчилар олдида ана шу билимларни тизимли ва мустақил эгаллаш вазифасини қўяди.

Мавзунинг долзарблиги. Оптик алоқа жамиятни ахборотлаштириш жараёнини ривожлантирувчи мукаммал ва истиқболли алоқа воситаси ҳисобланади. Замонавий давр жамиятни ахборотлаштириш жараёнини кескин ривожланишга олиб кирмоқда. Бу жараён ахборот-коммуникациялар хизматларидан фойдаланувчиларни телекоммуникациялар тармоқларига юқори тезлик билан (кенг полосали) уланишга ундайди ва ушбу масалалар долзарбдир.

Ишнинг илмий янгилиги. Оптик алоқа линиясининг мониторинг тизими (узлуксиз назорат) толанинг юқори сезгирлик хусусиятини қўллаб,

дархол руҳсатсиз ташқаридан эшитилаётган алоқа каналини ўчириши ва хавф (тревога) сигналини узатиши.

Амалий аҳамияти. Толали оптик кабеллар сигналларни узок масофаларга ретрансляциясиз узатиш имконини беради. Узок масофали алоқа линияларида оптик кабелларнинг қўлланилиши ретрансляторлар сонини қисқаришига олиб келади. Бунинг натижасида ҳам сарф харажатлар камаяди.

Ишнинг апробатсияси. Магистерлик битирув иши материаллари “Електр алоқа ва радио” кафедрасининг илмий семинарларида доклад қилинган ва муҳокамага қўйилган, шу билан биргаликда ТошТЙМИ даги аспирантлар, магистер ва талабларнинг илмий тадқиқот конференцияларида ҳам муҳокама қилинган.

Иш ҳажми ва структураси. Диссертатсия иши кириш, 3 та боб, хулоса, иловалар ва фойдаланилган адабиётлардан иборат. Ушбу иш 62 бетли босма матндан иборат бўлиб, у ўзида 18 расм ва 13 та фойдаланилган адабиётлар рўйхатини ташкил қилади.

Диссертатсия мавзуси бўйича чоп этилган мақолалар рўйхати:

1. “Ихтисослик фанларининг ўқув-методик таъминоти” магистрант: Алиев Р.Б., илмий раҳбар: т.ф.д. профессор Халиқов А.А., “Илмий педагогик ишларнинг долзарб муаммолари” номли магистратура талабалари ва ёш олимларнинг ХВИ – институтлараро илмий-удлубий анжумани. 2017-йил 27-ноябр.
2. “Optika aloqa tizimlarining tuzilish prinsiplari” magistrant Qobilov B.R., ilmiy rahbar: t.f.d. professor Xaliqov A.A., “Yosh ilmiy tadqiqotchi” bakalavriat, magistratura talabalari stajer-izlanuvchi-tadqiqotchilarning XVI-institutlararo ilmiy-amaliy konferensiya materiallari. 2017-yil 3-4 aprel

3. “Оптика алоқа тизимларининг тузилиш принциплари”
магистрант: Алиев Р.Б., илмий раҳбар: т.ф.д. профессор Халиқов
А.А., “Ёш илмий тадқиқотчи” бакалавриат, магистратура
талабалари стажер-изланувчи-тадқиқотчиларнинг ХВИ-
институтлараро илмий-амалий конференция материаллари. 2018-
йил 3-4 апрел

1. ОПТИК АЛОҚА ХАҚИДА АСОСИЙ ТУШУНЧАЛАР

1.1. Оптик алоқа, унинг афзалликлари ва қўлланиш соҳалари

Оптик алоқа (ОА) бу ахборот ёруғлик 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 тармоғи бу тугунлар ораси оптик алоқа линиялари орқали боғланган алоқа тармоғидир.

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 оралиғи кенглиги. Бу ташувчи частотасининг жуда юқорилиги 10^{14} Гц билан тушунтирилади. Битта оптик тола бўйлаб секундига бир неча терабит ахборотлар оқимини узатиш имконияти мавжуд. Ўтказиш оралиғининг кенглиги оптик алоқанинг мис ва бошқа ахборот узатиш муҳитларидан устун турувчи энг муҳим афзаллигидир.

Оптик толада ёруғлик 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 ретрансляциясиз 100 км ва ундан узоқ масофаларга узатиш имконини беради.

Шовқин сатҳини кичиклиги оптик толанинг ўтказиш қобилятини оширади.

Шовқиндан юқори даражада ҳимояланганлиги. Оптик тола диэлектрик материаллар – кварц, кўп таркибли шиша, полимер-лардан тайёрланганлиги учун у электромагнит нурланишни индукциялаш хусусиятига эга атрофидаги мис кабелли тизим ва электр қурилмаларнинг (электр узатиш линиялари, электродвигателли ускуна ва бошқалар) ташқи 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 мақулдир. 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, хажми ва ўлчамларини кичиклиги. Оптик кабеллар мис кабеллар билан солиштирилганда анча енгил ва хажми кичик. Масалан, 900 жуфтли 7,5 см диаметрли мис телефон кабелли 0,1 см диаметрли 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 кўриладиган мис кабел диаметридан бир неча марта кичик.

Оптик толанинг бу афзаллиги оптик кабелли линия трактларини қуришда анча енгилликлар яратади. Енгиллиги ва ўлчамини кичиклиги

туфайли оптик толани 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 ошиққа камайтиради [2].

Алоқанинг махфийлиги. Толали оптик кабеллар радио тўлқин 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, дархол рухсатсиз ташқаридан эшитилаётган алоқа каналини ўчириши ва хавф (тревога) сигналини узатиши мумкин.

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

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

Иқтисодий жиҳатдан самарадорлиги. 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 метал сарфланмайди. Мис ва қўрғошиннинг 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 сонини қисқаришига олиб келади. Бунинг натижасида ҳам сарф харажатлар камаяди.

Фойдаланиш муддатининг узоклиги. Тола вақт ўтган сари эскиради, яъни ётказилган кабелларда сўниш аста секин ошиб боради. Бироқ, оптик тола ишлаб чиқаришнинг замонавий технологияларининг мукаммаллашуви бу жараёни секинлаштиради ва фойдаланиш муддати 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].

Ҳозирги кунда турли вазифали ва тузилишли оптик тола ва кабеллар ишлаб чиқарилмоқда. Кенг полосали узок 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 кутбланишини сақланишини таъминловчи толалар ҳам ишлаб чиқарилмоқда.

Магистраль алоқада қўлланиладиган бундай кабелларни ишлаб чиқиш мураккаб ва қиммат. Бундай кабеллар қўлланилганда лазер ўтказгичлардан фойдаланилади. Лазер ўтказгичларга ҳам нурланиш спектрининг тозалигига, нурланиш характеристикаларининг 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 маққул. Бунда тўлқин манбаи сифатида кўп модаларни нурлантирувчи оддий турдаги ярим ўтказгич ёруғлик 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 кўплаб бир қанча афзалликларга эга бўлишига қарамай камчиликларга ҳам эга. Бу ТОА қурилмаларининг қимматлиги ва баъзи оптик технологияларнинг мукамал даражага етмаганлиги билан тушунтирилади. Бунга боғлиқ 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-ҳаражатларга олиб келади;

- толали оптик алоқа линияларини монтаж қилиш ва хизмат кўрсатишнинг мураккаблиги. Электрик 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 сигналларни йўқолмаслиги учун толани ортиқча юклаш ва букилишлардан ҳимоялаш керак. Махсус ҳимоялашни ташкил этиш, ишончлилиқни ошириш мақсадида оптик толани ишлаб чиқариш жараёнида тола эпоксиакрилад асосидаги махсус лак билан қопланади. Бундан ташқари кабел 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 ёруғлик ёки оптик сигналлар кўринишида узатиш ва қайта ишлаш амалга оширилади. ОА учун ёруғлик нурланиши ва тўлқин узунлиги турини танлаш узатилаётган ахборот характериға, шунингдек нурланиш ҳосил қилиш имконияларига, ундан сигнал шаклланишиға, ёруғлик тўлқинини узатиш ва қайта ишлашға ва нихоят, ахборотға эға сигнални қабул қилишға боғлиқ.

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 ёруғлик оқими-ташувчи частотанинг электромагнит тебранишларини модуляциялайди.

Сўнг ёруғлик 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.

1.2 – расм. ТОА тизимининг тузилиш схемаси

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;

ОАҚ – оптик қабул қилгич.

УТ, МҚ, ОУз ва УТ, МҚ, ОАҚ 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, ОАҚ 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 узок масофаларга узатиш мақсадида маълум оралиқларда сигналларни 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, созланади ва бошланғич формаси тикланади. Квант оптик кучайтиргичлари қўлланилганда эса сўнган оптик сигналлар электр сигналига айлантириб ўтилмасдан кучайтирилади.

Қабул қулувчи Б охириги станцияда тескари жараён амалга оширилади. ОА да оптик ташувчини информацион сигнал билан модуляциялаш учун частота модуляцияси (ЧМ), фаза модуляцияси (ФМ), амплитуда модуляцияси (АМ), кутбланган модуляция (ҚМ), интенсивлик бўйича модуляциялаш ва модуляциянинг бошқа турларини қўллаш мумкин. Оптик нурланишнинг интенсивлик бўйича модуляциялаш тури кўпроқ қўлланилади. Бунга сабаб, бу модуляция тури кенг частота диапазонида оптик ўтказгичларда қўлланиладиган оддий техник қурилмалар ярим ўтказгич нурланиш манбалари (ёруғлик 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 интенсивлик 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.

Интенсивлик бўйича модуляцияланган оптик сигнални бевосита фотодетекторга бериб, осонгина уни бошланғич сигнал кўринишини сақлаган электр сигнаliga айлантириш мумкин. Оптик сигналларни қабул қилишнинг бу усули тўғридан-тўғри фотодетекторлаш усули дейилади.

Хозирги 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 боғлиқ, 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 тизимларининг классификацияси ва икки томонлама ТОА ни тузиш усуллари

Қўлланиладиган модуляция турига қараб ОА тизимлари аналог ва рақамлига бўлинади.

Аналог ОА тизимларида модуляциянинг аналог усуллари: интенсивлик бўйича модуляциялаш, амплитуда, частота ва фаза модуляцияси турлари қўлланилади. Оптик нурланиш манбаларининг юқори нозизиқчилиги ва аналог узатиш учун талаб этиладиган шовқин бардошлиликни таъминлаш техник мураккаблиги сабабли аналог ОА тизимларидан фойдаланиш чегараланган. Шунга қарамай бир қатор сохаларда 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 бошланғич 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 тармоғининг боғловчи 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.

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

Ҳар бир оптик тола икки симли физик занжирга ўхшайди, чунки кабелнинг оптик толалари орасида ўзаро ўтишлар бўлмайдиган [4]. Шунинг учун ТОА нинг узатиш ва қабул қилиш трактлари битта кабел 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 охирги ва оралик станцияларнинг узатиш ва қабул қилиш қурилмаларининг бир турдалигидир. Камчилиги эса оптик тола (ОТ) ўтказиш қобилятидан фойдаланиш коэффиценти жуда кичик.

Кабел қурилмаларига кетадиган харажатлар оптик алоқа тизимлари нархининг катта қисмини ташкил этишини, оптик кабел нархи етарли даражада қимматлигини ҳисобга олсак, оптик толадан бир вақтда катта ҳажмдаги информацияни узатиш ҳисобига унинг ўтказиш қобилятидан фойдаланиш самарадорлигини ошириш масаласи юзага келади. Бунга масалан, битта оптик тола (ОТ) бўйлаб қарама-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].

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

қарама-қарши икки ёқлама сигналларни узатганда оқимлар орасида ўзаро ўтиш шовқинлари ҳосил бўлади. Ўтиш шовқинлари ОТ ва тармоқлагичлардаги тескари ютилишдан, ёруғликни уланган жойлардан ва

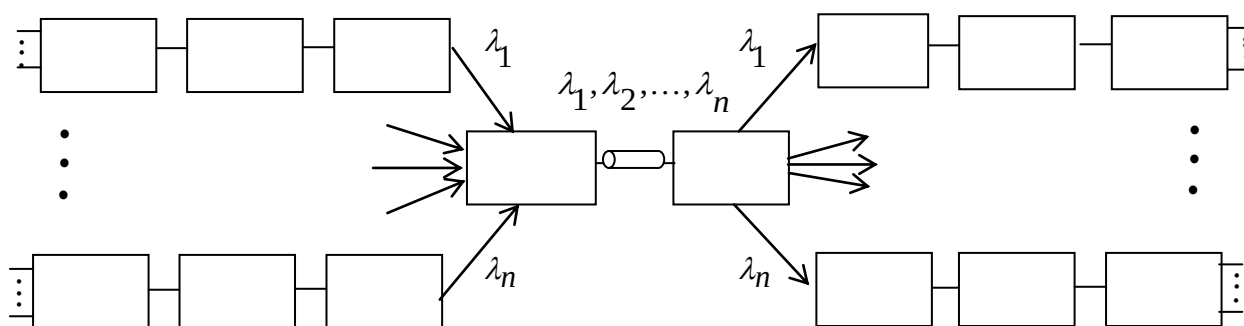
линия охиридаги ажраладиган улагичлардан қайтиши натижасида вужудга келади.

Шовқин сатҳи ва унинг спектр таркиби узатилаётган сигналнинг узатиш тезлигига, импульс формасига ва линия тракти параметрлари (тола сўниши, тўлқин узунлиги, сонли апертура, синдириш кўрсаткичи)га боғлиқ.

Тўлқин узунлиги 1,55 мкм ва узатиш тезлиги 35 Мбит/с дан юқори бўлса, бир ОТдан карама - 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 қўлланилладиган спектр оралиғида оптик кабелнинг сўниш коэффицентини оптик ташувчи частотасига (ёки тўлқин узунлигига) нисбатан кам боғлиқлигига 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 демультимплексор (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 қобилиятидан 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 демультимплексорлар. Уларнинг иши физик оптиканинг дисперсия, дифракция ва интерференция ходисаларига асосланган. Мультиплексор ва демультимплексорларнинг тузилиш асосида оптик призма, кўп қатламли диэлектрик, дифракцион панжара ва бошқалар бўлиши мумкин.

1.4. ТОА линияларини зичлаштириш усуллари

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

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

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].

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 ОАҚ да қайтатдан 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 уларни $\Delta t; 2\Delta t; 3\Delta t; \dots (N - 1) \Delta t$ 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 охирги имкониятига яқин бўлган тезкорлигига жуда юқори талаблар қўяди. Бундан ташқари оптик толанинг дисперсия хусусиятлари туфайли узатиш тезлиги, ўтказиш оралиғи 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 бошланғич 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 ностабиллиги қўшни каналларнинг ишчи тўлқин узунликлари орасида спектр бўйича оралиқларини информацион сигнал оралиқларидан бир неча марта ошиб 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 сигналларни 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 фильтрига узатилади. Бу фильтр биринчи каналнинг f_1 оптик ташувчисини OM_1 оптик модуляторига ўтказди 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 информатсион 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 бошланғич тебранишнинг қутбланиш юзасига нисбатан $\pi/2$ га бурилади. Натижада ёруғлик 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_{op} оралиқ частота ОФ оралиқ 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 коэффициенти ортади.

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

Бу усулнинг камчилиги шундаки, бунда қутбланиши сақланадиган оптик узатиш ва қабул қилиш трактлари, шунингдек бир қатор қўшимча қурилмалар, частота сургичлар, оптик вентиллар, қутбланиш назоратгичлари, оптик кучайтиргичлар ва бошқа қурилмалар талаб этилади. Бу ТОАни 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 нархини камайиши хисобига сезиларли даражада иқтисодий самарадорликка эришилади. Бундан ташқари, бу усул қўшимча қурилиш ишларисиз тармоқ ривожланишини таъминлаш, шунингдек тармоқланган дарахтсимон ва халқали тармоқларни яратиш имконини беради. Бунда ҳар хил тезликли ва рақамли, аналог турли модуляцияли (телефон, телевидение, телеметрия, ЭхМ бошқариш сигналлари) сигналларни узатиш имконияти кенгайди. Бу эса иқтисодни тежовчи кўп функцияли алоқа тизимларини ташкил этишни таъминлайди.

Оптик толанинг спектрал ўтказиш ораликдан бир мунча тўлиқ фойдаланиш бу усулнинг энг муҳим афзалликларидан бири ҳисобланади. Ҳозирги 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 ТОАда сўниш ва дисперсия қийматлари кичик бир моддали 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.

Оптик мультиплексор ва демультимплексорлар спектрал сезгир бўлиб, селектив ҳисобланади, яъни уларни характеристикалари оптик тўлқин узунлигига боғлиқ.

Оптик мультиплексорлар оптик каналларни турли тўлқин узунликларини бирлаштириб, битта оптик толага киритади. Мультиплексорларга дифракцион панжара, призмалар, филтрлар таълуқлидир. 1.10,а-расмда дифракцион панжарали планар тўрт каналли мультиплексорни ва 1.10,б-расмда интерференцион филтрли тўрт каналли мультиплексорни тузилиши кўрсатилган.

1.10-расм. Мультиплексорлар:

а-планар тўрт каналли дифракцион панжарали мультиплексор;

б-тўрт каналли интерференцион филтрли мультиплексор

Мультиплексор ва демультиплексорларни иши тўлқин узунлигига сезгир бўлган уч омилга асосланган: бурчак дисперсияси, интерференция ва селектив ютилишига.

Демультиплексорлар битта толадан келаётган оптик сигналлар оқимидан турли тўлқин узунликли оптик каналларни ажратиш вазифасини бажаради. 1.11,а,б-расмларда кўрсатилган демульти-плексорларда каналларни ажратиш учун мос равишда панжаранинг бурчак дисперсияси ва призма ишлатилинади. 1.11,в-расмда каналлар интерференцион филтрлар ёрдамида ажратиб олинади. 1.11,г-расмда эса демультиплексор сифатида қўлланиладиган аниқ тўлқин узунликли ёруғликни ютувчи тузилиш кўрсатилган (1.11- расм) [10].

1.11-расм. Демультимплексорлар:

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

Хар бир ёруғликни ютувчи, маълум тўлқин узунлигига сезгир фотодиодлардан ташкил топган.

Панжара ва призмали қурилмалар (1.11а, б-расм) каналларни параллел ажратувчи, фильтрлар ва селектив фотодиодли қурилмалар (1.11,в,г- расм) эса каналларни кетма-кет ажратувчи ҳисобланади.

Спектр бўйича зичлаштириладиган тизимлар таркибига кирадиган демультимплексорларни тузилиши, нурни тескари йўналишда тарқалишида спектрал-сезгир мультимплексорларни тузилишига ўхшаш [4].

Мультимплексор ва демультимплексорлар сигналларни сўнишига сезиларли таъсир қилади. Шунинг учун улар оптик кучайтиргичлар билан биргаликда қўлланилади.

1-боб бўйича хулосалар:

Кабел қурилмаларига кетадиган харажатлар оптик алоқа тизимлари нархининг катта қисмини ташкил этишини, оптик кабел нархи етарли даражада қимматлигини ҳисобга олсак, оптик толадан бир вақтда катта ҳажмдаги информацияни узатиш ҳисобига унинг ўтказиш қобилиятидан фойдаланиш самарадорлигини ошириш масаласи юзага келади.

ТОА кўплаб бир қанча афзалликларга эга бўлишига қарамай камчиликларга ҳам эга. Бу ТОА қурилмаларининг қимматлиги ва баъзи оптик технологияларнинг мукамал даражага етмаганлиги билан тушунтирилади. Бунга боғлиқ 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. Электрик 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.

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 боғлаб турувчи муҳитдир. Оптик узатиш каналларининг характеристикалари 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 нурланишни тарқалиш йўналиши фақатгина антеннанинг йўналиш диаграммаси билан аниқланади. ООА каналлари ўз навбатида уч турга бўлинади: атмосфера, космик ва сув ости алоқа каналлари.

Атмосфера ООА каналларида тўлқинларни тарқалиш характеристикаси етарли даражада об-ҳаво шароитларига боғлиқ. Атмосфера ва сув ости узатиш муҳитларининг физик бир турда эмаслиги ва уларнинг таркибидаги бегона заррачаларни узатилаётган нурланиш тўлқини билан ўзаро таъсирда бўлишидан электромагнит тўлқинлар бузилади. Заррача ўлчамларининг 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. Тўлқинларни тарқалиш йўналишига тушиб қоладиган заррачалар асосан оптик нурланишни ютади ва сочади. Бу омилларни таъсир даражаси канал турига (сув ости, тоза ҳаво, турбулент атмосфера ва бошқалар) боғлиқ. Бу тизимларда бузилишларни камайтириш,

талаб этиладиган ишончлиликни таъминлаш учун ретрансляция участкаси узунлигини камайтириш керак бўлади.

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

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

Космик алоқа тизимларини лойихалаштиришда асосий масала бу узатиш ва қабул қилиш антенналарининг ўлчамларини мос равишда тўғри танлаш орқали йўқотишларни бартараф этиш ҳисобланади.

ТОА да электромагнит нурланишларни тарқалиш йўлини ташкил этиш учун махсус оптик ёруғлик ўтказгичлар қўлланилади.

2.2. Оптик ёруғлик ўтказгичлар ва уларни турлари

ТОАда оптик тебранишларни тарқалишини чегараловчи ва ёруғлик энергияси оқимини берилган йўналишда йўналтирувчи муҳит оптик узатувчи канал ёки оптик ёруғлик ўтказгичлар дейилади. Кичик сўниш коэффицентига эга бўлган оптик ёруғлик ўтказгичлар асосида оптик сигналларни узоқ масофаларга узатишни таъминловчи оптик кабеллар яратилмоқда.

Оптик ёруғлик ўтказгичлар икки турга бўлинади: ясси оптик ёруғлик ўтказгичлар ва ёруғлик ўтказгич оптик толалар. Ясси оптик ёруғлик ўтказгичлар ўз навбатида плёнкали (2.1,а-расм) ва каналлига (2.1,б-расм)

бўлинади. Ёруғлик ўтказгич 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 ёруғлик ўтказгичлар

Оптик нур узатувчиларнинг синдириш кўрсаткичи:

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

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

$n > n_0$ бўлганда (n_0 -атроф муқитнинг синдириш кўрсаткичи) нур чегарадан тўлиқ ички қайтади.

Ясси оптик ёруғлик ўтказгичларда (2.1-расм) тўлиқ ички қайтиш бўлиши учун

$$n_1 > n_2 \geq n_0,$$

шарт бажарилиши керак.

Бу ерда n_1 -плёнканинг синдириш кўрсаткичи;

n_2 -тагликнинг синдириш кўрсаткичи;

n_0 -ташқи муҳитнинг синдириш кўрсаткичи.

Плёнка қалинлигини танлаб, узатиладиган тўлқинлар сонини чегаралаш мумкин. Битта асосий тўлқинни узатиш учун плёнка қалинлиги 0,1 мкм бўлиши керак. Бундай плёнкани тайёрлаш мурраккабдир. Синдириш кўрсаткичларининг нисбий фарқини камайтириб, плёнканинг қалинлигини, яъни диаметрини оширишимиз мумкин. Кўпгина оптик қурилмалар: актив(генератор, модулятор, демодулятор ва б.к.) қурилмаларни қуришда оптик нур узатувчиларнинг қирқимларидан фойдаланилади. Кўпгина оптик қурилмалар ясси оптик ёруғлик ўтказгичлар асосида тайёрланади.

Ёруғлик ўтказгич оптик толалар ўзак ва қобикдан иборат бўлади. Улар қиймат бўйича бир-бирига яқин турли синдириш кўрсаткичларига эга. Ўзак узатувчи муҳит, қобик эса ўзи ва ўзак орасида чегара ҳосил қилувчи сифатида ишлатилади. Бу чегара ёруғликни йўналтирувчи физик канални шакллантириб, у орқали узатилган сигналнинг ташувчиси ёруғлик нури тарқалади.

Ёруғлик нури фақатгина ўзак бўйлаб тарқалишини таъминлаш учун (2.2-расм)

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

шарт бажарилиши керак. Мос равишда бу ерда

n_1 -ўзакнинг синдириш кўрсаткичи,

n_2, n_3 -қобикларнинг синдириш кўрсаткичлари,

n_0 -ташқи муҳитнинг синдириш кўрсаткичи [4].

2.2-расм. Ёруғлик ўтказувчи оптик толалар

ОТни таркибий қисмлари 2.3-расмда тасвирланган. Ўзак ва қобик учун асосий материал кварц шишаси (SiO_2) ҳисобланади. Керакли синдириш кўрсаткичларини олиш учун кварц шишасига бор, германий ва шунга ўхшаш бошқа қўшимчалар қўшилади [6]. Толани қўшимча қобиклари ҳимоя қобиғи ҳисобланади. 2.3-расмда ташқи пластик қоплама кўрсатилган [6].

2.3-расм. Оптик толанинг тузилиши

2.3. Оптик тола бўйлаб ёруғлик нурининг тарқалиши

Оптик толада ёруғлик нурини узатиш геометрик оптика қонунларига асосланган. Бу қонунларга мувофиқ ёруғлик нури ўзак бўйлаб зигзаксимон линиялар ҳосил қилиб тарқалади. Ўзакни синдириш кўрсаткичи n_1 қобикни синдириш кўрсаткичи n_2 дан катта бўлиши сабабли оптик нур фақат ўзак бўйлаб тарқалади. Бу нур синдириш кўрсаткичи катта муҳитдан синдириш кўрсаткичи кичик муҳитга ўтганда икки муҳит чегарасида синган нурни нормал нурдан оғиши билан тушунтирилади. Масалан: буни нур сувдан хавога ўтганда ҳам кузатиш мумкин. Икки муҳит чегарасига тушиш бурчаги Θ_1 ошган сари синган нурни нормал нурдан оғиши ҳам ошиб боради. Нормал нурга нисбатан синган нур бурчаги Θ_2 90° га етгач, синган нур чегара юзаси бўйлаб тарқала бошлайди. 2.4-расмда турли тушиш бурчакларида нурни тарқалиши кўрсатилган.

2.4-расм. Бир неча тушиш бурчаклари учун нурни тарқалиш йўли, $n_1 > n_2$, бу ерда n_1 ва n_2 икки турли муҳитларнинг синдириш кўрсаткичлари

2.4(а)-расмда тушиш бурчаги Θ_1 кичик бўлганда синган нур тўлиқ қобикқа ўтиб кетади. 2.4(б)-расмдагидек сигнал критик бурчак остида

тушганда синган нур чегара бўйлаб тарқалади. 2.4(в)-расмда тушиш бурчаги критик тушиш бурчагидан ошганда тўлиқ ички қайтиш юзага келиши тасвирланган. «Ўзак-қобик» чегарасида сигнал энергияси тўлиқ қайтадиган бу бурчак тўлиқ ички қайтиш бурчаги $\Theta_{\text{т.и.қ.}}$ дейилади.

Тўлиқ ички қайтиш бурчаги қуйидагича аниқланади:

$$\Theta_{\text{т.и.қ.}} = \arcsin \quad , \quad (2.3)$$

бу ерда n_1 -ўзакнинг синдириш кўрсаткичи;

n_2 -қобикнинг синдириш кўрсаткичи.

Ўзак ва қобик тайёрланадиган материалларни синдириш кўрсаткичлари нисбатини оптимал танлаш орқали ёруғлик нуруни ўзак ичида тўлиқ ички қайтиши рўй беради ва нурни фақатгина оптик тола ўзаги бўйлаб тарқалиши таъминланади.

Узатиш учун нур маълум бир бурчак остида оптик толага киритилади. Ёруғлик нуруни тола ўзагига максимал тушиш бурчаги бурчак апертураси Θ_a дейилади. Бурчак апертурасининг синуси сонли апертура дейилади ва NA харфлари 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 кўриниб турибдики, оптик толанинг сонли апертураси NA фақатгина ўзак ва қобикнинг n_1 ва n_2 синдириш кўрсаткичларига боғлиқ. Бунда ҳар доим $n_1 > n_2$ шарт бажарилади (2.5-расм) [7].

2.5-расм. Оптик толада ёруғлик нуруни тарқалиши. Оптик толанинг сонли апертураси

Оптик толада нуруни тарқалиш тезлиги ўзакнинг синдириш кўрсаткичларига боғлиқ бўлиб, қуйидаги формуладан аниқланади:

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

бу ерда C -вакуумда нуруни тарқалиш тезлиги;
 n_1 -ўзакни синдириш кўрсаткичи.

Ўзак материалининг синдириш кўрсаткичи 1,45-1,55 оралиқда ётади [7].

Маълумки тўлқин узунлиги учун характерли бўлган оптик толанинг яна бир хусусияти бу нормаллаштирилган частота ν бўлиб, у қуйидагича аниқланади [6]:

$$\nu = n_1^2 - n_2^2. \quad (2.6)$$

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

Нуруни толада тарқалиш жараёнини таърифлаш учун бир неча асосий параметрлар қўлланилади. Бу муҳим параметрларга сўниш ва дисперсия киради.

Сўниш 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 ёруғлик тўлқинлари модалар (ёки шахсий тўлқинлар) дейилади [7].

Материал дисперсияси материал синдириш кўрсаткичини частотага боғлиқ холда ўзгариши билан ҳосил бўлади. Мода дисперсияси тола орқали бир неча модаларни узатишдан ҳосил бўлади. Тола орқали турли модалар турли фаза ва гурухли тезликда узатилади, қабул қилувчи пунктларга ҳам турли вақтларда етиб келади. Натижада толада турли модаларни ҳар хил кечикиш билан тарқалишидан бузилишлар (дисперсия) юзага келади.

Модалар сонини ёруғлик узатгич оптик толанинг тузилиши ва ўлчамини ўзгартирган холда камайтириш мумкин. 2.6-формуладан келиб чиқадиган бўлсак, n_2/n_1 нисбатни амалий мумкин бўлган холда сақлаб, ўзак радиусини камайтириш йўли орқали модалар сонини чегаралаш мумкин.

Частота (ν)га боғлиқ холда модалар сони:

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

Агар, $\nu=2,405$ бўлса, у холда 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

Тўлқин узунлигига нисбатан ўзак диаметрига боғлиқ равишда оптик толалар бир модали ва кўп модалига бўлинади. Бир модали толаларда кўпинча ўзак 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. Амалиёти кўп модали ва бир модали тола диаметрларини бошқа қийматлари ҳам мавжуд Бир модали толадан фақат бир мода (ёруғлик 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 йўли ва вақтига эга.

Кўп модали толалар синдириш кўрсаткичи n бўйича поғонали (2.7,а-расм) ва градиент (2.7,б-расм) толаларга бўлинади[6].

Поғонали синдириш кўрсаткичли кўп модали толалар икки муҳит чегарасида синдириш кўрсаткичларини кескин (поғона кўринишида) ўзгариши (n_1 дан n_2 га) билан характерланади. Поғонали синдириш кўрсаткичли толалар ўтказиш полосасини чегаралайди, лекин градиент синдириш кўрсаткичли толаларга нисбатан арзон ҳисобланади.

2.6-расм.Бир модали (а) ва кўп модали (b) толаларнинг кўндаланг кесими

2.7-расм. Поғонали (a) ва градиент (b) кўп модали толаларнинг тузилиши ва синдириш кўрсаткичи профиллари.

Градиент синдириш кўрсаткичли кўп модали толалар поғонали синдириш кўрсаткичли толаларга қараганда равон синдириш кўрсаткичига ва модалараро дисперсияни 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 кўрсаткичли кўп модали толаларнинг энг асосий камчилиги уларнинг қимматлиги ва ишлаб чиқаришни мураккаблигидир. Кўп модали толаларда мода дисперсияси ўтказиш полосаси ва алоқа масофасини чегаралайди. Шунинг учун кўп модали толалар асосан локал тармоқларда ва плезиохрон рақамли иерархия сигналларини узатишда ишлатилади.

\

2.8-расм. Турли толалардан ёруғлик нурининг тарқалиши ва уларни синдириш кўрсаткичлари профиллари.

- a) - кўп модали, поғонали синдириш кўрсаткичли тола;
- b) - кўп модали, градиент синдириш кўрсаткичли тола;
- d) - бир модали, поғонали синдириш кўрсаткичли тола.

Бир модали толалардан магистрал алоқа тармоқларида фойдаланилади. Чунки бир модали толаларда сигналлар кўп модали режимга қараганда кам бузилиш билан узатилади. Турли толалар бўйлаб оптик сигналларнинг тарқалиши 2.8-расмда тасвирланган.

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

Синдириш кўрсаткичларига қараб бир модали толалар поғонали (тўғрибурчакли) ва махсус турдаги уч тишли, W кўринишдаги толаларга бўлинади (2.9-расм).

2.9-расм. Бир модали оптик толанинг синдириш кўрсаткичлари:

- а) - поғонали синдириш кўрсаткичли бир модали стандарт SF тола;
- б) - махсус уч тишли, W кўринишга эга синдириш кўрсаткичли, дисперсияси нолга силжиган бир модали тола.

Синдириш кўрсаткичлари сўнишга боғлиқ эмас, аммо хроматик дисперсия кўрсаткичларига таъсир қилади. Бир модали толалар дисперсия қийматлари бўйича ушбу турларга бўлинади:

1. Стандарт тола SF (standart fiber).
2. Нолинчи дисперсияси силжиган бир модали тола DSF (dispersionshifted single mode fider).

3. Нолга тенг бўлмаган силжиган дисперсияли бир модали тола NZDSF (nonzero dispersion-shifted single mode fider)[8].

Стандарт SF толалари поғонали синдириш кўрсаткичига эга. Статистик маълумотларга кўра энг кўп ётказилган кабеллар бир модали стандарт SF (Standart Fiber) толалардан иборат. ҳозирда 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 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.

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 бўйича зичлаштириш усулини қўллаш учун нолинчи λ_0 тўлқин узунлигини 1520 нм дан 1560 нм гача суриб, нолга тенг бўлмаган дисперсияси силжиган NZDSF толалари ҳосил қилинган. Нолинчи дисперсияли тўлқин узунлигини суриш махсус турдаги W кўринишдаги синдириш кўрсаткичларини, синдириш кўрсаткичлари турлича бўлган кўп қатламли қобиққа эга оптик толаларни қўллаш орқали ҳосил қилинади. Икки қатламли қобиқларни қўллаб DSF толалари, тўрт қатламли қобиқларни қўллаб, 1300 нм дан 1650 нм тўлқин узунлигида дисперсия қиймати $|D|=1-6$ пс/нм·км бўлган NZDSF

толалари ҳосил қилинади. Дисперсиянинг тўлқин узунлигига ва қобиклар сонига боғлиқлиги 2.11-расмда тасвирланган[8].

2.10-расм. Тўлқин узунлигига боғлиқ равишда оптик тола сўнишини ўзгариши.

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 бўлмаслиги керак[7] .

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

2.11-расм. Дисперсиянинг тўлқин узунлигига ва қобиклар сонига боғлиқлиги:

БҚ- бир қобик; ИҚ-икки қобик; ТҚ-тўрт қобик

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

Бир модали стандарт SF толалари қўлланилганда дисперсия қийматини камайтириш керак. Дисперсияни камайтириш, регенерациялаш секцияси узунлигини ошириш, 2,5 Гбит/с тезликдан юқори 10 Гбит/с тезликка ўтиш, шунингдек спектр бўйича 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 ёруғлик тўлқинларини тола муҳити билан чизиқли ва ночизиқли ўзаро 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 ёруғлик оқимларининг кучсизланишидир. Тола узунлиги бўйича сўнишни ўзгариш 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 сигналларни сочилиши ва ютилишидан ҳосил бўлувчи йўқотишлар ва кабел йўқотишларидан юзага келади.

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

Тола йўқотишларини тўлиқ уларни йиғиндиси кўринишида 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 йўқотишлари

Шахсий йўқотишларга ютилиш ва сочилишдан ҳосил бўладиган йўқотишлар киради. Ютилишдан ҳосил бўладиган йўқотишлар ички ва ташқи бўлади. Ички ютилиш йўқотишларини тоза кремний материали ҳосил қилиши мумкин. Хар бир материал молекуляр тузилишига кўра маълум тўлқин узунликларида сигналларни ютиши мумкин. Масалан, SiO_2 ни ультра бинафша диапазонда $\lambda < 0,4$ мкм тўлқин узунлигида электрон резонанслари мавжуд. Шунингдек, инфрақизил диапазонда $\lambda > 7$ мкм тўлқин узунлигида тебранувчи резонанслари мавжуд. Демак бу резонанслар кўринадиган частота диапазонида ютиш полосаси кўринишида бўлади. Иккинчи ва учинчи ойналарда ютилишнинг бу тури 0,03 дБ/км дан кўп бўлмаган йўқотишларга олиб келади.

Ташқи ютилиш йўқотишлари ёруғликни тола қўшимчаларида ютилишидан ҳосил бўлади. Замонавий ишлаб чиқариш технологиялари бу йўқотишлар таъсирини жуда кичик даражага камайтирган. Бу йўқотишлар темир, мис, никел, магний, хром қўшимчаларини толага қўшиш натижасида ҳосил бўлади. Замонавий ишлаб чиқариш жараёнида бу металлларни таркиби бир миллиард қисмгача камайтирилган. Шунинг учун улар умумий ташқи ютиш йўқотишларининг жуда кичик қисмини ташкил этади. Булардан фарқли равишда гидроксил ион (OH) лар қолдиғини мавжудлиги, яъни ишлаб чиқариш жараёнида толада сув қолдиқларини қолиши ташқи ютиш йўқотишларини сезиларли даражада оширади. Оптик тола таркибида OH ионлари бирни юз миллиондан кам қисмини ташкил этиш керак.

Замонавий оптик толаларда микроқўшимчалар миқдори жуда кичиклиги учун ташқи ютилиш шовқинлари минимал бўлиб, уларни ҳисобга олмаса ҳам бўлади. Лекин ОН концентрацияси бирдан миллион қисмини ташкил этганда, 1390 нм тўлқин узунлигида йўқотишлар 50 дБ бўлиши мумкин.

Нурни сочилишидан ҳосил бўладиган йўқотишлар ички йўқотишлар ҳисобланиб, оптик тола ўзагининг дефектлари: ҳаво пуффакчалари, ёриқлар, толани бир турда эмаслиги, яъни қўшимчалар қўшилишидан шиша зичлигини тасодифий ўзгариши туфайли юзага келади. Бу омиллар ёруғлик оқими йўналишини ўзгартириб, оғишига олиб келади, натижада синиш бурчаги ошиб, ёруғлик нури қобикдан ташқарига сочилиб кетади.

Бундан ташқари оптик толани бир турда эмаслиги, яъни қўшимчалар мавжудлиги ёруғлик оқимини маълум қисмини тесқари томонга акс этишига - тесқари сочилишга олиб келади (2.13 - расм)[7].

1550 нм тўлқин узунлигида Релеевск сочилишлари умумий йўқотишларнинг асосийси ҳисобланади. Релеевск сочилиши тўлқин узунлигига тесқари пропорционал бўлиб, тўлқин узунлиги ошиши билан йўқотишлар камаяди.

2.5.1.2. Кабел йўқотишлари

Кабел йўқотишлари микробукилишлар ва макробукилишлар ҳисобига ҳосил бўлади.

Микробукилишлар. Микробукилиш бу ишлаб чиқариш жараёнида тола ўзаги геометриясининг микроскопик ўзгариши, яъни толани мукаммал эмаслигидир. Микробукилишлар ишлаб чиқариш жараёнида толани етарли текис бўлмаган ташқи химоя қопламалари билан қопланиши натижасида

ўзакни ўқ марказида жойлашмаслиги, ўққа нисбатан қийшиқ жойлашишидан юзага келади. Микробукилишлар кабел йўқотишларини оширади. Бу йўқотишлар 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 толаларни букишни рухсат этилган минимал радиуси 10 см ни ташкил этади. Бундай букилишда ёруғлик импульслари кучсиз бузилиш билан тарқалади. Букилиш радиусини камайиши, 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 ўралганда, албатта ғалтак радиуси бўйича букилади. Кабел биноларда ётказилганда, уни бино бурчакларида букиш керак бўлади. Кабелни ётказувчи букиш радиусини минимал рухсат этилган қийматдан камайтирмаслиги, ортиқча букмаслиги керак. Толали оптик кабелни рухсат этилган чегарадан кучли букиб, кабелни яроқсиз қилиши, хаттоки кабелда толаларни узилишига олиб келиши мумкин. Макробукилишлар 2.14,а-расмда кўрсатилган[6].

a)

b)

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

- тола ўзагини ўлчамларини мослашмаганлиги;
- толани синдириш кўрсаткичларини фарқланиши;
- толаларни улашда узунасига ўқларни чатишмаслиги;
- толаларни бурчак апертураларини фарқланиши;
- толаларни зич уламасликдан ҳаво пуффакчаларини ҳосил бўлиши.

Бу омилларни барчаси сўнишни, йўқотишларни оширади. Сўниш ва йўқотишларни камайтириш учун ишлаб чиқариш жараёнида тола геометриясининг юқори аниқ бўлишига катта эътибор бериш керак. Бунинг учун ишлаб чиқаришда ўзакни қобик шишасида марказлашган ҳолда жойлашишига, ишлаб чиқарилган толаларни диаметрларини бир хил бўлишига, толани шахсий букилишларига катта талаблар қўйилади.

Оптик толанинг тўлиқ сўниш коэффициенти аниқлаш учун юқорида айтиб ўтилган барча омиллар ҳисобга олиниши керак (2.15 - расм) [7] .

Оптик нурланишни берилган тўлқин узунлиги учун сўниш коэффициенти толага киритиладиган оптик қувватни толадан қабул қилинган оптик сигнал қувватига нисбати орқали аниқланади. Одатда сўниш коэффициенти децибелда (дБ) ўлчанади ва оптик тола параметрларига,

шунингдек тўлқин узунлигига ҳам боғлиқ. Сўнишни тўлқин узунлигига боғлиқлиги нозичли характерга эга бўлиб, бу боғланиш графиги 2.10–расмда кўрсатилган эди. Сўниш коэффиценти тўлқин узунлигига боғлиқ бўлиб, турли тўлқин узунликлари учун сўниш қиймати 2.1-жадвалда берилган.

2.1 – жадвал

Турли тўлқин узунликлари учун сўниш қийматлари

Шаффофлик ойналари	Тўлқин узунлиги λ , мкм	Сўниш α , дБ/км
1	0,85	2-3
2	1,3	0,4–1,0
3	1,55	0,2–0,3

Биринчи шаффофлик ойнаси 0,8-0,9 мкм тўлқин узунлиги кенг поласали ёруғлик нурланиш манбалари ва қисқа тўлқинли лазердан фойдаланиб, сигналларни яқин масофаларга узатишда қўлланилади.

Иккинчи шаффофлик ойнасининг 1,28-1,33 мкм тўлқин узунликлари телекоммуникацияда кўп қўлланилади. Бу ойна нисбатан кам сўниш коэффицентига эга бўлиб, бу диапазонда сигналларни узатиш учун кенг поласали оптик нурланиш манбалари ишлатилинади. Бунинг асосий сабаби ушбу диапазонда кварц шишаси минимал хроматик дисперсия қийматига эга бўлиб, у арзон нурланиш манбаларидан фойдаланиш имконини беради.

Учинчи ойна 1,525-1,575 мкм оралиғида бўлиб, бу ойнанинг асосий афзаллиги сўниш коэффиценти минималлиги ҳисобланади. Бироқ юқори тезликли тизимларни оқимларини узатишда дисперсия қиймати ошиб кетади. Дисперсия қийматини камайтириш учун дисперсияни компенсация қилувчи қуролмаларни қўлланилиши талаб этилади, бу эса толали оптик алоқа тизимларини нархини оширади[7].

2.5.2. Дисперсия

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

Дисперсия ўтказиш қобилиятини камайтириб, оптик тизимларни иш тезлигини чегаралайди. Дисперсия– импульсларни кенгайиши, L узунликли кабелни кириш ва чиқишидаги импульслар давомийлигини квадратик фарқи сифатида қуйидаги формуладан аниқланади:

(2.11)

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

2.5.2.1. Модалараро дисперсия

Модалараро дисперсия тола бўйлаб модаларни турли йўналишларда турли вақтда тарқалиши билан боғлиқ. Кўп модали толага сонли апертура бурчаги чегарасида бир неча рухсат этилган модалар киритилиши мумкин.

Уларни ҳаммаси турли йўналишларда тарқалади ва узатувчи манбадан қабул қилгичга турли вақтларда етиб келади. 2.18-расмда қуйи тартибли мода 2 та қайтишга эга бўлса, юқори тартибли мода толанинг шу кесимида 7 та қайтишга эга. Натижада юқори тартибли мода энергияси қуйи тартибли мода энергиясига қараганда кечикади. Қабул қилинган импульслар йиғиндисиди бир импульсни қўшни импульс интервалига тушишидан қўшни импульс хато қабул қилинади. Модалараро дисперсия кўп модали узатиш тизимларининг камчилиги ҳисобланади. Бу турдаги дисперсия бузилишларини бир модали толаларни қўллаш орқали бартараф этиш мумкин. Чунки ундан фақат битта асосий мода узатилади.

2.18-расм. Кўп модали оптик тола кесимида ёруғлик манбаидан берилаётган учта моданинг тарқалиши кўрсатилган (идеаллаштирилган расм).

2.5.2.2. Хроматик дисперсия

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

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

Хроматик дисперсия пикосекунд/нанометр*километр (пс/нм·км) да ўлчанади. ($1 \text{ пс} = 1 \cdot 10^{-12} \text{ с}$, $1 \text{ нм} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}$). Бу 1нм кенгликдаги импульсни 1км узунликдаги тола орқали ўтгандаги 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.

2.5.2.3. Материал дисперсияси

Материал дисперсияси тўлқин узунлигини тола материалининг 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 - ёруғликнинг вакуумдаги тезлиги,

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

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

1-шаффофлик 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-шаффофлик 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-шаффофлик 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-боб бўйича хулосалар

Оптик алода узатиш каналлари характеристикалари алода тизимининг сифатини анидлайди. Шу муносабат билан оптик алода тизимларини лойихалаштиришда нурланиш узатувчи мухит- каналнинг хусусиятларини дисобга олиш кераклиги анидланди.

Модалар сонини ёруглик узатгич оптик толанинг тузилиши ва улчамини узгартирган холда камайтириш мумкинлиги анидланди.

Оптик тола турлари ва уларнинг тавсифлари куриб чидилди ва куп модали толаларда мода дисперсияси утсазиш полосаси ва алода масофасини чегаралаши анидланди.

3. ОПТИК НУРЛАНИШНИ МОДУЛЯЦИЯ ВА ДЕМОДУЛЯЦИЯСИ

3.1. Оптик нурланишни модуляциялаш усуллари

Хозирги вақтда қўлланиладиган асосий модуляция тури бу интенсивлик 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.

d)

3.1-расм. Оптик нурланиш модуляцияси: а) - тўғри; б) - ташқи; d) – ички.

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. (3.1,а-расм). Иккинчи усул-модуляцияланмаган ёруғлик манбаи нурланишини модуляцияси. Бу ташқи модуляция дейилади (3.1,б-расм). Ва ниҳоят, агар мос келувчи модулятор бўлса, унда уни лазер резонаторига киритиш ва шу тарзда ички модуляцияни амалга ошириш мумкин (3.1,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.

3.2. Тўғри модуляция ва демодуляция

Ташқи ток билан ЛД нурланиш жадаллигини тўғри модуляцияси юқори тезликда амалга оширилиши мумкин. Бу афзаллик электронларни кичик спонтан яшаш вақти $\tau_{\text{сп}} \sim 10^{-9}$ с ва мос равишда инверс жойлашишни тез бориш имконияти билан аниқланади. 3.2-расмда кўрсатилган кўп модали лазерни ўтиш характеристикаси, стационар режимни ўрнатиш жараёнини акс эттиради [4].

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

$$\tau_k = \tau_{\text{сп}} \cdot 20 \lg[I/(I - I_q)]. \quad (3.1)$$

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

$$\tau_k = \tau_{cn} \cdot 20 \lg[I/(I - I_c + I_c)]. \quad (3.2)$$

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

$$(3.3)$$

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. (3.3-расм) [4].

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

хисоблашлар 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 интенсивликни тўғри модуляцияси қўлланилади.

ЁНДда нурланиш қуввати инъекция I_{α} токини бирдан ошиши билан чизиқли ўсади ва термик (иссиқлик) эффектлари билангина чегараланади.

Аналог модуляциялайдиган сигнал қўлланилганда интенсивлик бўйича модуляцияни кўриб чиқамиз. 3.4-расмда модуляция жараёни кўрсатилган. P_0 ва I_0 параметрли ишчи нукта ватт-ампер характеристиканинг чизиқли участкасини ўртасида танланади. Модуляция А режимда амалга оширилади ва модуляция коэффициенти учун ифода қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$m=(I_{\max}-I_{\min})/(I_{\max}+I_{\min})=\sqrt{2} I_{\alpha}/I_0=(P_{\max}-P_{\min})/(P_{\max}+P_{\min}), \quad (3.4)$$

бу ерда I_{α} -модуляция сигнали токини амалдаги қиймати

3.4-расм. Аналог сигнал қўлланилганда ЛДни интенсивлик бўйича 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 камайишига 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 тоқини 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 (3.5-расм), ёрдамчи тола ёрдамида нурланадиган P қувватни кичик қисми олиб берилади, сўнг у нурлантирадиган ЁНД модуляциялайдиган тоқига таъсир қилади.

3.5-расм. Манфий тескари алоқа усули билан оптик нурланиш
ночизиқлилигини 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 $I_M = I - I_{\text{та}}$.

Яқинлаштирилганда ЁНД нурланиш характеристикасини

$$P = a(I_M - b I_M^2),$$

кўринишдаги парабола деб ҳисоблаш мумкин;

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

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

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

$P=0$ ва $I=0$ ни берадиган, фақат бир ечимни танлаб ва уни $(1 + \beta a)$ 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 коэффициенти бир томондан ночизиқли бузилишларни қуйи сатҳ талаблари ва бошқа томондан юқори нурланадиган

қувват ва схемани юқори барқарорлик талаблари ўртасидаги мурасага асосан танланади.

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

ЁНДни рақамли сигналлар билан модуляциясини кўриб чиқамиз. Рақамли сигнал билан интенсивлик модуляциясида инъекция токини бирдан ошиши ва нурланиш бошланиши орасида кечикиш юзага келади. 3.6-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 фарқига 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.

Интенсивлик 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.

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 коэффициентини,

кўчкисимон ФД қўлланилганда кўпайиш коэффициентини 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:

$$I = q \eta (P/h \cdot f) . \quad (3.5)$$

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 юклamani 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, K .

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

$$(3.6)$$

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

p-i-n диодлар учун юкламани иссиқлик шовқинлари ва кучайтиргичларни шовқинлари дроб шовқинларидан анчагина ошади, шунинг учун

$$C-Ш=I^2R/(4kTBF_{ш}).$$

Шу тарзда C-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 C-Ш нисбатини кўрсатиш осон:

(3.7)

Бу ифода киришдаги минимал қувват сигнал билан бирга келадиган квантлаш шовқинлари билан чегараланганда, тўғри фотодетекторлаш фото қабул қилгичини чегаравий сезгирлигига мос келади.

Кўчкисимон ФД қўлланилганда ҳолат бир мунча ўзгаради. М кўчкисимон кўпайиш коэффиценти хисобга олган ҳолда C-Ш нисбати қуйидаги кўринишда ёзилади:

(3.8)

(3.8) дан кўриниб турибдики, М ўсган сари C-Ш нисбати ошади. М қиймати учун оптимал ифода мавжуд бўлиб, қуйидагича аниқланади:

Сигнал, шунингдек дроб ва иссиқлик шовқинларини M кучайиш коэффициентига боғлиқлиги 3.8-расмда келтирилган. Боғлиқлик эгри чизиклари (3.8)га мос равишда олинган. Кучайиш коэффициентини оптимал қиймати $M_{\text{опт}}$, йиғинди шовқин асосан дроб шовқинлари билан аниқланадиган пайтга мос келади.

3.8-расм. Сигнал (1), йиғинди (2), иссиқлик (3) ва дроб (4) шовқинларининг кучайиш коэффициентига боғлиқлиги

3.9. Аналог интенсивлик бўйича модуляцияли оптик сигналларни бевосита қабул қилиш схемаси

Интенсивлик бўйича аналог модуляцияли оптик сигналларни қабул қилишда С-Ш нисбатини аниқлаймиз. Бу ҳолда бевосита оптик қабул қилиш юқори частотали сигналларни тўғри кучайтиришли қабул қилишга ўхшаш. 3.9-расмдаги тузилиш схемага мос равишда оптик нурланиш бевосита фото детекторга тушади.

Халақит қилувчи нурланишлар имкон қадар диафрагмацияланади ва фильтр билан йўқотилади. Лазер кучайтиргичда ёруғлик тўлқинларини оптик дастлабки кучайиши ютуқ бериши даргумон, чунки лазерни шовқинлари туфайли сезгирлик атиги озгина ошади. Шунинг учун лазерли дастлабки кучайтиргичларга кетадиган катта маблағлар 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. Фотодетекторга интенсивлик 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 холда кучайтиргич киришидаги фототокни ўзгарувчан ташкил этувчиси:

$$I_m=mIM.$$

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

р-і-п ФД ($M=1$) қўлланилганда сезгирлик иссиқлик ва кучайтиргич шовқинлари билан чегараланади, ёруғлик қуввати модуляциясини минимал амплитудаси эса:

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

3-боб бўйича хулосалар:

Оптик нурлантиргич нозизиқлигини компенсациялашни бир неча усуллари тавсия этилган: дастлабки бузилишларни киритиш; фаза модуляцияси усули; ярим дастлабки бузилишлар усули ва манфий тескари алоқа усуллари.

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 нисбати аниқланди.

ХУЛОСАЛАР

Оптик алоқа жамиятни ахборотлаштириш жараёнини ривожлантирувчи мукамал ва истиқболли алоқа воситаси хисобланади. Замонавий давр жамиятни ахборотлаштириш жараёнини кескин ривожланишга олиб кирмоқда. Бу жараён ахборот-коммуникациялар хизматларидан фойдаланувчиларни телекоммуникациялар тармоқларига юқори тезлик билан (кенг полосали) уланишга ундайди.

Оптик алоқа линиясининг мониторинг тизими (узлуксиз назорат) толанинг юқори сезгирлик хусусиятини қўллаб, дархол руҳсатсиз ташқаридан эшителиётган алоқа каналини ўчириши ва хавф (тревога) сигналини узатиши.

Толали оптик кабеллар сигналларни узоқ масофаларга ретрансляциясиз узатиш имконини беради. Узоқ масофали алоқа линияларида оптик кабелларнинг қўлланилиши ретрансляторлар сонини қисқаришига олиб келади. Бунинг натижасида ҳам сарф ҳаражатлар камаяди.

АДАБИЁТЛАР

4. Убайдуллаев Р.Р. Волоконно–оптические сети-М.: Эко – Трендз, 2000.
5. 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.
6. Гальярди Р.М., Карп Ш. Оптическая связь: Перевод с английского С.М. Бабия под ред. А.Т. Шереметьева. – М.: Связь, 1978.
7. 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.
8. 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.
9. Фриман Р. Волоконно–оптические системы связи: Перевод с английского под ред. Н.Н. Слепова. –М.: Техносфера, 2003.
7. А.В. Тарасов. Лазеры и их применение. Москва: Радио и связь. 1988.

ИЛОВАЛАР