К.Е. Күсен

ТАЛШЫҚТЫ-ОПТИКАЛЫҚ БЕРУ ЖҮЙЕСІ

Алматы 2008

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. СӘТБАЕВ атындағы ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ ТЕХНИКАЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ

К.Е. Күсен

ТАЛШЫҚТЫ-ОПТИКАЛЫҚ БЕРУ ЖҮЙЕСІ

Республикалық оқу-әдістемелік бірлестігі
оқу құралы ретінде ұсынған

Алматы 2008

ЖОК 621.391
ББК 35.73 я К 87

Күсен К.Е. Талшықты-оптикалық беру жүйесі: Оқу құр – Алматы: ҚазҰТУ, 2008. 96 б.

ISBN 978-601-228-008

Оқу құралында қазіргі кезеңдегі талшықты-оптикалық байланыс жүйесінің дамуы оқылады. Сәулежолдардың негізгі теориясы, олардың классификациясы мен сипаттамасын есептеу әдістері қарастырылады. Талшықты-оптикалық беру жүйесінің құрылу қағидалары, сондай-ақ беру жүйесінің барлық компоненттері келтірілген.

050716-Аспап жасау мамандығының бакалавр студенттеріне арналған, сонымен қатар радиоэлектроника және телекоммуникация бағытындағы мамандықтардың бакалаврына да пайдасы бар.

Сурет - 87. Кесте -7. Әдебиеттер тізімі -10 атау.

ББК 35.73 я 73

Пікір жазғандар: *А.З. Айтмаганбетов,* техн.ғыл.канд., профессор, АЭжБИ;
Г.С. Казиева, техн.ғыл.канд., профессор, АЭжБИ;
Н.Т. Исембергенов техн.ғыл.докторы, профессор, ҚазҰТУ.

Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің 2008 жылғы жоспары бойынша басылады.

ISBN978-601-228-008

© Күсен К.Е., 2008
© ҚазҰТУ, 2008

КІРІСПЕ

Электроника және оптикалық, кванттық, оптоэлектрондық технологиялар прогресі тарату жүйесінің соңғы құрылғыларының өткізу жолағы мен тез әрекеттілігін лезде арттыруға мүмкіндік берді (сәйкесінше ~100 Гц және 40...80 Гбит/с), ал оларға негізделген қазіргі оптикалық талшықтар (ОТ) мен оптикалық кабельдердің (ОК) таралу ортасының өткізу жолағы ондаған терагерцке (ТГц) жетеді. Осының арқасында қазіргі талшықты-оптикалық байланыс жолдарында (ТОБЖ) бір талшық бойымен таралатын ақпарат көлемі бірнеше Тбит/с эквивалентті жылдамдыққа өсті. Сонымен бірге, сигнал регенерациясының аралық пункттерінің болмағандағы таралу ұзындығы жүздеген километрге артты және болашақта мыңдаған километрге жетеді.

Жоғарыда аталған қызметтер мен технологияларды абоненттердің көп саны үшін (олардың саны экспоненттік заң бойынша өседі) жүзеге асыру мақсатында қазіргі кезде көптеген елдерде жоғары жылдамдықты талшықты-оптикалық тарату жүйелері (ТОТЖ) құрылып қолданылуда. Талшықты-оптикалық технологиялар негізінде барлық деңгейдегі ТОБЖ құрылды. Олар: объектілік, қалалық, аймақтық және магистральды. Олардың цифрлық ақпаратты тарату жылдамдығы, сәйкесінше: 2,048 Мбит/с, 8,448 Мбит/с, 34 Мбит/с (плезиохронды цифрлық иерархия ПЦИ жүйелері және асинхронды транспорттық модульдер АТМ). Сонымен қатар, синхронды транспорттық модульдер СТМ (STM) цифрлық ақпарат жүйесінің (ЦАЖ) негізін мынадай жылдамдықтарда құрады: 155 Мбит/с (STM-1), 622 Мбит/с (STM-4), 2,5 Гбит/с (STM-16) және 10 Гбит/с (STM-64). Жылдамдығы 40 Гбит/с (STM-256) болатын ТОБЖ жүйесі құрылып, пайдалануға жіберіледі.

Цифрлық ақпаратты тарату жүйесіне (ЦАЖ) арналған ТОБЖ-ны құрумен қатар, ақпаратты аналогті түрде тарату жүйелері құрылуда. Бұл, ең алдымен, кабельді теледидар жүйелеріне (КТЖ) қатысты. Сонымен қатар, қазіргі кезде анықтылығы жоғары цифрлық теледидарды тарату үшін талшықты-оптикалық жүйелер ойлап шығарылуда.

Ақпаратты ТОБЖ арқылы таратудың қазіргі кездегі цифрлық жүйелерінде, тарату ортасында оптикалық талшықта тарату жылдамдығымен анықталатын, сызықтық жүйеде қолданған тізбек және жиілігі бар оптикалық қысқа импульстер таралады. Бұл импульстер не тікелей модуляция көмегімен – жартылай өткізгіш лазердің қанығу тогімен, не электрлік кернеу импульстерімен басқарылатын сыртқы модулятор көмегімен орындалады. Оптикалық импульстердің құрылуының мұндай

әдісінде жетістіктер электронды жүйелерге қатысты. Сонымен қатар, электрондық ақпараттық ағындарды оптикалыққа түрлендіру энергия шығындарын тудырады. Сондықтан жоғарыдағы фотонды элементтерге оптикалық импульстер тізбегін қалыптастыру мәселесін шешу керек. Бұл мәселе модуляторлар және оптикалық басқарылуы бар оптикалық тиектер пайдалануымен шешіледі.

1. ТАЛШЫҚТЫ-ОПТИКАЛЫҚ БЕРУ ЖҮЙЕСІ

1.1 Талшықты-оптикалық беру жүйесінің қасиеттері

Барлық сигналдарды беру әдістерінің ішінде талшықты-оптикалық беру жүйесінің көптеген артықшылықтары бар:

- үлкен жолақты өткізгіш. Бұл жоғары жиілікті жарық 10^{14}-10^{15} Гц-ке дейін.

- беру кезіндегі аз шығындар. Қазіргі өндірістегі талшықты толқын ұзындығы λ=1,55 мкм кабельдің өшуі 0,2 – 0,25 дБ-дан көп емес 1 км-ді құрайды. Мұндай өшірулер ретрансляциялық пункттердің арасын 100 км-ге дейін ұлғайтады.

- электрмагниттік кедергіні қабылдамау. Бұл сигнал тасымалдаушыларда фотондардың пайда болуына байланысты. Сондай-ақ оптикалық кабельдерде жеке сәуле жолдарының бір-біріне әсері жоқ.

- рұқсатсыз кіруден қорғау. Егер талшықтар металдық емес өткізгіштен және металдық емес қабықшадан жасалса, онда оны айқындау мүмкін емес. Қосылу кезінде лезде талшықтың өшуі өзгереді.

- көрсеткіш құнының төмендігі. Олар табиғатта кең таралған. Кремнийден талшық дайындаумен анықталады. Көрсеткіш шығынының төмендігі және кең ауқымды өткізгіш жолағы оптикалық жүйедегі канал км-ң тұрақтысы басқа жүйеге қарағанда төмен болуын көрсетеді. Бұл артықшылық әсіресе үлкен сыйымдылықты беру жүйесінде болады.

- гальваникалық айыру. Жарықтық-дыбыстық электрліктен ерекшелігі қандайда бір электрлік потенциалдық байланыста беруші және қабылдаушы жақтардың болмауы.

- ұзақ мерзімді эксплуатация. Технологияда талшықты дайындау шыңдай түсті. Қазір оның жұмыс істеу мерзімі 25 жылға дейін.

Оптикалық беру жүйесінің жаңа бағыты шамамен 20 жылдай болады. Байланыста олардың кемшіліктері келесі түрдегідей болады:

- элементтік базаның жоғары құны. Шектелген жұмыс мерзімі лазерлік сәуле шығару көзі болып табылады. Сонымен қатар оптикалық пассивті элементтерді жасау кезінде шығындар маңызды орын алады (мультиплексорлар, жалғағыштар, т.б.). Маңызды шығындар электрлік дыбыс жарығымен және кері сигнал жарығымен түрлендірумен байланысты.

- жоғары құрастырудың күрделілігі және оптикалық беру жүйесінің күтімі. Құрыспен, эксплуатациямен, өлшеулермен электрлік кабельдік жүйені оптикалық пісіру технологиясын өлшеу өте қиын және көптеген жоғары квалификациясын талап етеді.

- Микрожарықтардан және сигналдың жоғалуынан келетін қисаюлар мен артық жүктемеден талшықты арнайы қорғау. Бұл металдық қабықшаның пайда болуына, есеп-қисап бойынша металдық немесе шыны пластикалы стерженьдердің бекітілуіне алып келеді.

Келешекте технологиядағы бұл жалпы кемшіліктер азаяды.

1.2 Талшықты-оптикалық беру жүйесіндегі техника – экономикалық эффектілердің қолданылуы

Нарықтық экономика жағдайында көрсеткіш құны әртүрлі салаларда және бағыттарда қолайлы көрсеткіш болып табылады. ТОБЖ-да олардың бағасы параметрлік тізбек арқылы беріледі: L – беру жолының ұзындығы, V – ақпарат беру жылдамдығы, $C_{\sum}$ – беру жүйесінің құны. Беру жүйесі шартының меншікті көрсеткіш құны келесі түрдегідей болады:

$$C_{ул}= C_{\sum}/LV \qquad (1.1)$$

$C_{\sum}$ – беру жүйесіне байланысты барлық құндар түсінігі кіреді.

$$C_{\sum}=Сбер+Скаб+Сок+Сн+Сж+Сэ \qquad (1.2)$$

Мұндағы

Сбер; Скаб – беру құны және қабылдағыш құрылғының құны;

Сок – талшықты-оптикалық кабель құны;

Сн - дайындау жүйесінің құны;

Сж – жинақтау құны;

Сэ – эксплуатация құны.

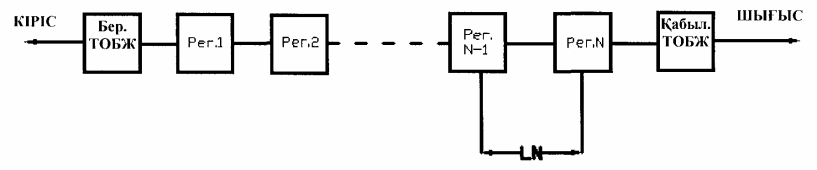
Туынды

$$D=L*V \qquad (1.3)$$

Бұл шама ерікті жүйе болып табылады. Шамамен меншікті және жалпы түсу құны сияқты оның жоғарылауы ерікті. Ерікті ұлғайту жолы беру жүйесінің және беру жолдары ұзындығының ұлғаюына байланысты. Беру ұзындығының ұлғаюы талшықтағы және трансляциядағы аралық пункттерде шығындарды азайтуы мүмкін. Кәдімгі ТОБЖ-да бөлімше бойынша қосқыштарды жалғастыратын генераторлар осы мақсатпен жүргізіледі. (1.1 -сурет). Сондықтан $C_{\sum}$-ге генератор құны кіреді. Мұндай беру жүйесінің жалпы еріктілігі:

$$D_{жалғ}=V*L=V*\sum Ln \qquad (1.4)$$

Мұндағы Ln – регенерациялық бөлімшедегі n-ң ұзындығы. Бұл жағдайда беру жүйесінің меншікті құны:



1.1 – сурет. Қалпына келтіру дыбысымен ТОБЖ-ң құрылымдық схемасы

$$C_{\text{мен. жалғ}} = C_{\sum}/V*\sum Ln \qquad (1.5)$$

Беру жүйесінің тез әрекеттігінің өсуімен (ТОБЖ беру жылдамдығын 10 Гбит/с-ке жеткізеді) регенераторлар арақашықтығы ұлғаюның мәні шектелген.

Қазіргі жағдайда меншікті құнның түсуі параллельді ақпарат беру жүйесін жасау жолына жатады. Аумақтық және магистральды ТОБЖ мұндай шешімді спектрлік тығыздық принципімен негіздеуі мүмкін. Мұндай жағдайда беру жылдамдығының қосындысы келесі формуламен анықталады:

$$V=\sum Vm \qquad (1.6)$$

Мұндағы Vm – бір жарық тасушыдағы беру жылдамдығы.

M – жарық тасушылардың жалпы саны.

Бір терезе үшін сәуле жолдарының мөлдірлігі 1530 – 1560 км, жолақ тасушылар саны M бірнеше ондықтарды құрайды. Егер беру жылдамдығы барлық жарық тасымалдаушылар бірдей болса, онда жылдамдық жинағы:

$$V_0=M* \qquad (1.7)$$

осындай беру жүйесінің еріктігі:

$$D_0=L*M*Vm \qquad (1.8)$$

Сәйкесінше, осындай жүйенің меншікті құны:

$$C= C'_{\sum}/L*\sum Vm= C'_{\sum}/L*M*Vm \qquad (1.9)$$

Бұл жағдайда $C_{\sum}$-дегі регенераторлар құнының орнына кванттық күшейткіштер құны кіреді. Бірақ жеке-жеке әрбір жарық тасушылар үшін регенераторлар қолдану керек болатын, ал кванттық күшейткіштер бір уақытта барлық жарық тасушыларды күшейтеді. Осылардың барлығы келешекте жүйе құнының түсуін қадағалайды.

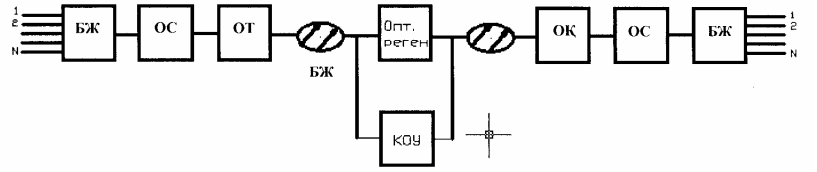
Бақылау сұрақтары:

1) Талшықты-оптикалық беру жүйесінің қасиеті.
2) ТОБЖ-ны қандай кемшіліктер сипаттайды?
3) ТОБЖ эффектілігінің техника-экономикалық көрсеткіші болып не табылады?

2. ТАЛШЫҚТЫ–ОПТИКАЛЫҚ БЕРУ ЖҮЙЕСІНІҢ ҚҰРЫЛУЫ

2.1 Талшықты–оптикалық беру жүйесінің құрылымдық схемасы

Талшықты-оптикалық беру жүйесі электрлік беру жүйесіндегідей аппаратқа ие болады. Түрлендіру сигналдары, шығыс каналдарының жиілігі немесе уақыттарының тығыз болуы керекті беріліс оптикалық сигналдарын беріліс жүйесіне түрлендіруге мәжбүр етіп, электрлік сигналдарын жарықтыққа және қарама-қарсы осыдан кейін құрылымдық схема берілісінде (2.1 – сурет.) жаңа блоктар құрылғылары пайда болады. Құрылғы шығыс кодты түрлендіретін жағдай береді, қабылдауында синхронды тактілі және қателерді табуды қамтамасыз етеді. Оптикалық құрылғы берілісі электрлік сигналдардан оптикалыққа ауысымды қамтамасыз етеді. Құрылғының шығысынан оптикалық сигнал сызықты кабельдің оптикалық талшықтарына беріледі. Аралық станция ретінде оптикалық регенератор немесе кванттық оптикалық күшейткіш қолданылады, оптикалық қабылдағыш оптикалық сигналдан, электрлікке ауысымды қамтамасыз етуі, содан қабылдауда, түрлендіруде сызықты кодты беріліс кодқа беруі тиіс.



2.1 – сурет. Талшықты-оптикалық беру жүйесінің құрылымдық схемасы

2.2 Талшықты-оптикалық беру жүйесінің классификациясы

Модуляция түрінде сәулеленудің күшеюі ТОБЖ-да аналогті және цифрлық болып бөлінеді, аналогта ТОБЖ жүйесінің амплитудасы жиілікке, фазаға күшейтілген болады.

Аналогті әдіс модуляциясының цифрлық берілуі болады. Олардың кемшілігі аналогті жүйемен салыстырғанда, жылдамдығының күшеюі. Оптикалық жүйенің электрлікпен салыстырғанда берілісі көп болады.

Классификацияның тағы бір түрі ТОБЖ ұзындығымен және олардың берілуімен кабельді электрлік жүйелерге бөлінуі. Бұл ТОБЖ

бөлінуі магистральда, аумақтық және жергілікті жүйеде, жүйелік берілісте.

Ішкі қала аралық жүйе, абоненттік жүйе, АТС жүйесі ТОБЖ локальдық жүйесін ЭВМ-да қамтамасыз етеді.

Оптикалық жүйе құруда екі талшықты ТОБЖ қолданылады, ол бір жақтылы, бір кабельді, бір талшықты, көп жолақты, бір кабельді болуы мүмкін.

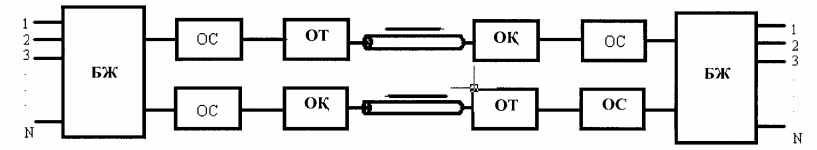
Екі талшықты, бір жолақты, бір кабельді ТОБЖ 2.2 -суретте көрсетілген.

2.3 Талшықты – оптикалық беру жүйесінің тығыздалу әдісі

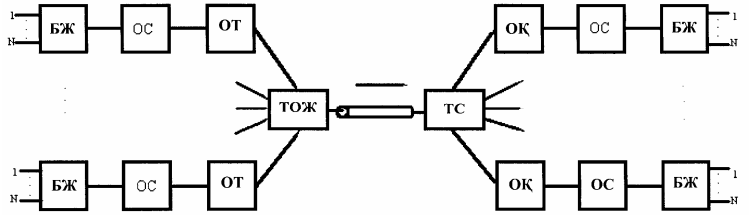
Қазіргі уақытта оптикалық сигналдың берілуі үшін 3 негізгі әдісті қолданады: тығыздалу уақыт әдісі, электрлік шығыс сигналдарымен кеңістік тығыздалу әдісі және электрлік тығыздалу әдісі.

2.3, 2.4, 2.5-суреттерде уақыт тығыздалу әдісі электрлік шығыстағы сигналы төмен жылдамдықтағы құрылғыға негізделіп уақыт ағымында үлкен жылдамдықты мультиплексор арқылы болады.

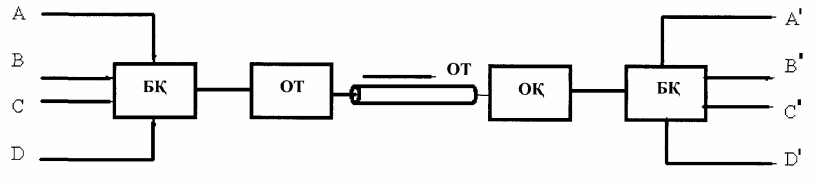
Әр кіріс ағымы, барлық өткізу сызығы өзінің бағыттарын белгілі уақыт аралығында алады. Мультиплексорлық битпен және байтпен болады. Биттік мультиплексорде алдымен бір ағымда бит жібереді, содан кейін екінші бит ағымын, т.б.



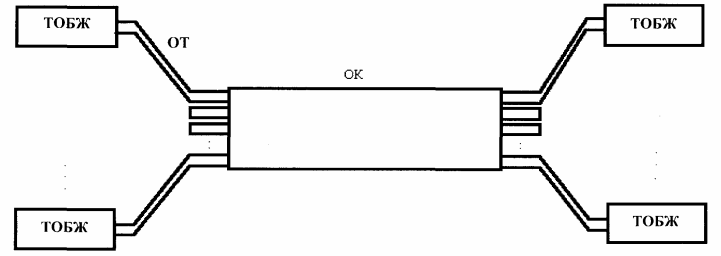
2.2 - сурет. Екі талшықты, бір жолақты, бір кабельді ТОБЖ



2.3 – сурет. Сызықты тракт, ТОБЖ-ың уақыт тығыздалуы электрлік сигнал дәрежесінде



2.4 - сурет. Кеңістікте ОҚ тығыздалуының принципі



2.5 - сурет. ТОБЖ-ның электрлік бөлінуінің құрылымдық схемасы

Жүйеге қатысты, электрлік тығыздалуға негізделе отырып бұл жүйелер қазіргі уақытта оптикалық мультиплексор жүйесі, жиілік бөлінуі деген атқа ие болады. Әдістің мәні оптикалық тасмалдаушылармен генерацияланады, бөлек лазерлермен әр тасымалдаушы қазіргі технологияда плезинхронды және синхронды иерархиялы цифрлық ағым бере алады. Электрлік уақыт тығыздалуымен салыстырғанда оптикалық мультиплексорде ауданның ұлғаюын беруге болады.

Қысқа аралықта информациялық көлем берілісін оптикалық тығыздалу әдісінің маңызымен сипаттады. Мұндай жағдай аз көлемдегі талшықты оптикалыққа негізделеді.

3. ОПТИКАЛЫҚ КАБЕЛЬДЕРДІҢ ҚОЛДАНЫЛУЫ

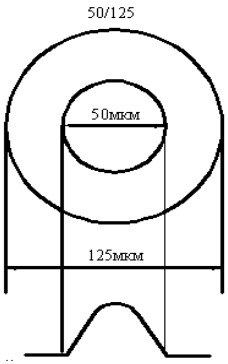
Қазіргі кездегі ТОБЖ дамуы тоқтаусыз негізгі оптикалық кабельдік элементтерінің жетілуімен, (оптикалық талшықтар) жасалу бағыттарын бірінші орынға оптикалық талшықтарды жасаумен көп көлемде информация беріледі.

3.1 Негізгі талшықты – оптикалық беру жүйесіндегі параметрлердің түрлері

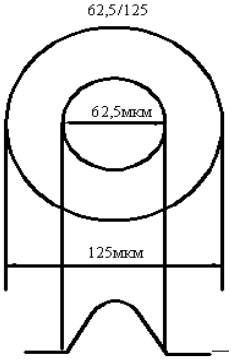
Диаметрге байланысты жарық тасушы толқын ұзындығы, жарықтық беріліс-талшықтар көп модты және бір модты болып бөлінеді. (Көп модтықта талшық диаметрінің ішкі қабыршағы 50 – 62.5 мкм-ді құрайды, ал бір модтықта ~ 8 мкм. (3.1-сурет). Бір модтықтағы талшық бір ғана модта берілетін болады, сол кезде көп модтықты талшықтар сияқты бұл жерде мод сандары көп мәнде жекілікті болмайды .

Көп модтық талшық конфигурация коэффициентінің түзелу және сыртқы қабықшасы, көп модтық градиенттік талшық (3.2-сурет) коэффициент өзгерісі, ішкі қалыңдығы тығыз материалдан жасалады. Жарық өткізгіш материалы кварцты әйнек болады.

а) градиентті көп модты талшықтар

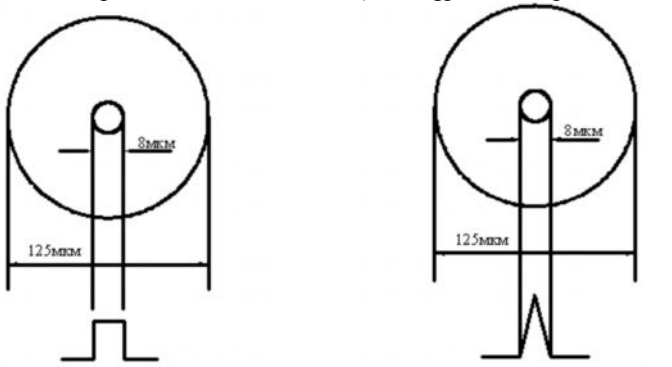


Сыну көрсеткіші



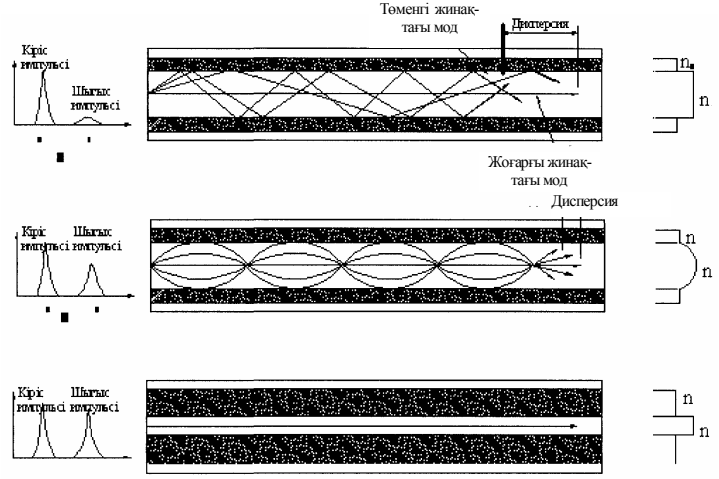
Сыну көрсеткіші

ә) Сатылы бір модты талшық б) Үшбұрышты бір модты талшық



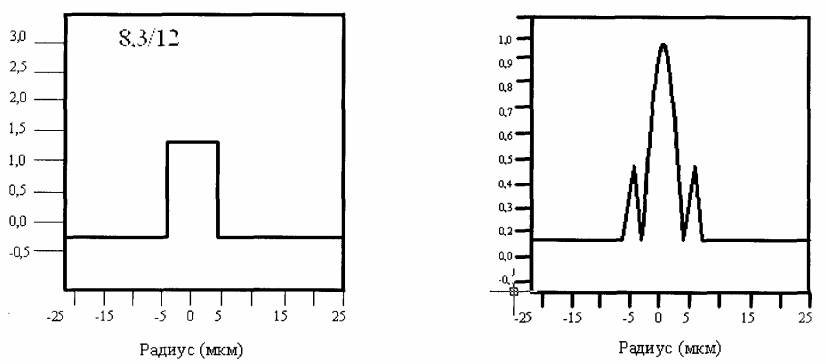
3.1- сурет. Модтық талшықтар

Градиентті көп модты талшықтың түзелу коэффициенті, үлкен жоғарғы техникалық көрсеткіштер мод аралық дисперсия түсіруге келісімді өткізгіштігі әртүрлі мод жарықтану болып табылады. Бұл фактор сәулелену анықтап беріліс сигналының жарықтану дисперсия импульсіне әкеледі. Қазіргі кезде көп модты талшық градиентке шығарылады. Мұндай талшықты кабельдер локальды есептегіш жүйеде және беріліс сигналдардың цифрлық иерархия берілісінде қолданылады.



3.2 - сурет. Градиенттік талшық

Көрсеткіш профилі сөну түзеткіш талшығына, хроматикалық дисперсия көрсеткішіне әсер етеді, $\Delta\lambda$ - кеңейтудің пропорционалды ұзындығы талшықтың қорек көзінің сәулелену когеренті болмайды. Дисперсия нс/км және λ=(1310±10) нм хроматикалық дисперсия нөлге беріледі.



3.3 - сурет. Көрсеткіш профилі

4. ДИСПЕРСИЯ КӨЛЕМІ

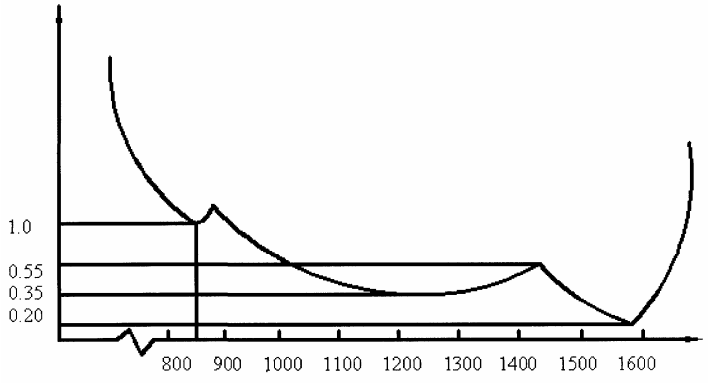
Келесі классификацияның дисперсия көлемі бір модтық талшық. Сондықтан көрсеткіш стандартты талшық дисперсия мен нөлдік талшық дисперсия араласқан. Ең соңғы түрі – талшық түзету профилі көрсеткішінің арнайы түрі. Сол себепті талшықты нөлдік дисперсиясының нүктесі λ 0=1550 нм. Ауысу нүктесінің нөлдік дисперсиясы λ 0=1550 нм, кварцты талшықтардың минимальды өшу аймағы 0.2-0.25 дБ/км құраушы, сол уақытта λ =1300 нм өшуі 0.33–0.5дб/км (4.1-сурет). Сондықтан қашықтық регенератор немесе күшейткіш пункттеріне осындай талшық сәйкес келеді. Бірақ, нөлдік дисперсия талшығы тағы бір маңызды принципті бермейді, толқын тығыздығының ұзындық толқыны басқалармен салыстырғанда 1530–1565 нм.

Талшықтардың орындалуы нөлдік дисперсияны жоюды қамтамасыз етеді. Нөлдік ығысу λ_0 ~1520 немесе λ_0 ~1560 корректрлі W- түрді немесе үшбұрышты түзеткіш көрсеткіші (4.2-сурет). Бұл

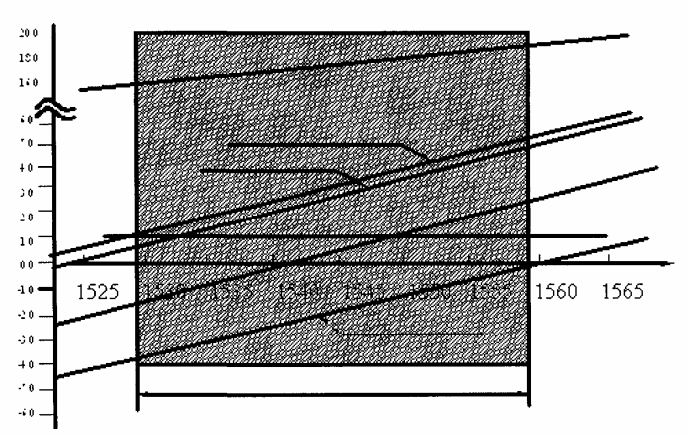
суретте DSF-талшық нөлдік дисперсия мен NZDSF-талшық нөлдік ауытқу дисперсиясы.

Барлық толқынды талшық минимальды өшу диапазон ұзындығы 1200–1600 нм, 0.4–0.55дБ/км аспайтын. Бұл жерде үш терезе мөлдірлігі 1285–1330 нм, 1350–1450 нм, 1525–1575 нм. Қолданудың нөлдік араласу дисперсиясын бірлік және ондық Гбит/с құрайды.

Паразит оптикалық каналдардың пайда болуы λ_0 жақындағанда спектрлік тығыздалу оптикалық-талшықтардың нөлдік дисперсиясы сызықты емес эффектілерге ие болады.



4.1 - сурет. Ауысу нүктесі



4.2 - сурет. Түзеткіш нүктесі

5. ТАЛШЫҚТЫ – ОПТИКАЛЫҚ БЕРУ ЖҮЙЕСІНІҢ ЭЛЕМЕНТТІК БАЗАСЫ

Оптикалық талшықтың жаңа түрін жасау (нөлдік дисперсияға ығысқан), сондай-ақ лазерлер, көп жолақты кванттық күшейткіштер оптикалық жүйе мен оптикалық күре жолдардың құрылуына мүмкіндік береді. Осындай технология жүздік Гбит/с жолағын жіберу жүйесін жасау үшін қолданылады. Мұндай жүйенің керекті элементтері оптикалық сүзгілер, мультиплексорлар және демультиплексорлар, толқындық конверторлар, оптикалық жалғаушылар болып табылады.

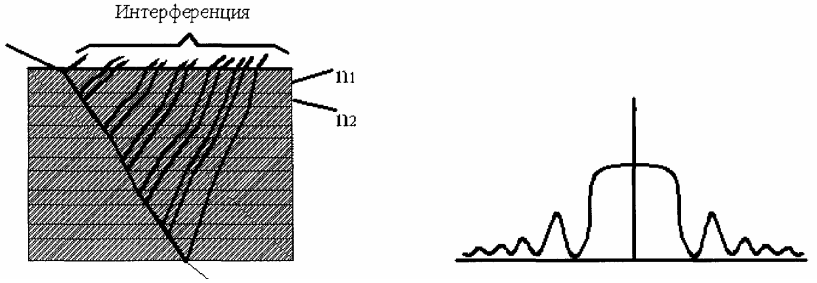
5.1 Оптикалық сүзгілер

Оптикалық сүзгілер жалпы оптикалық спектрлерден оптикалық каналдарды (STM-1, STM-4 немесе STM-16 түрдегі) бөліп шығару үшін тағайындалған. Оптикалық сүзгілердің сапасында демультиплексорлар қолдануға бола ма, соны қарастырайық.

Оптикалық сүзгілер бөлімі көп қабатты диэлектрлік құрылымда және дифракциялық торларда іске асырылады.

Оптикалық сүзгіге әсер етуші принцип көп қабатты диэлектрлік құрылымда сипатталады.

Көп қабатты құрылым диэлектрлік әртүрлі сыну көрсеткішімен екі түрде болады. Қабаттың қалыңдығы $(1/4)\lambda$ (таңдап алынған оптикалық каналдың толқын ұзындығы) Δ түзету есебі бойынша сәуленің түсу бұрышына $0[(1/4)\lambda * \cos 0]$ тең. Сәуле шығару толқын ұзындығымен λ синфазалы шағылысады, ал қалғандары әлсіз шағылысады және құрылымға сіңеді. Құрылым қабатының қалыңдығын өзгерте отырып, осындай сүзгінің өткізу жолағын да өзгертуге болады.



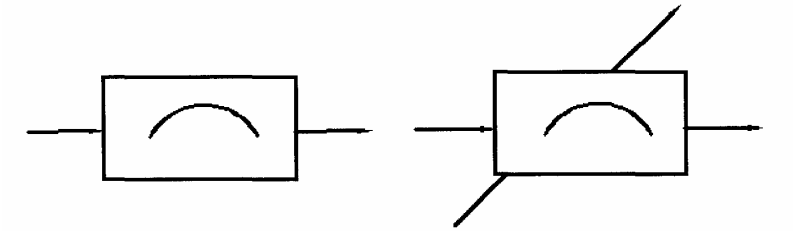
а) ә)

5.1 - сурет. Көпқабатты диэлектрлік сүзгіге әсер ету принципі
а) көп қабатты диэлектрлік құрылым
ә) шағылу коэфицентіне спектрлік байланыс

Осындай кеңістік бөлім кеңістіктегі берілген нүктеден қажетті толқын ұзындығын бөліп шығаруды қамтамасыз етеді.

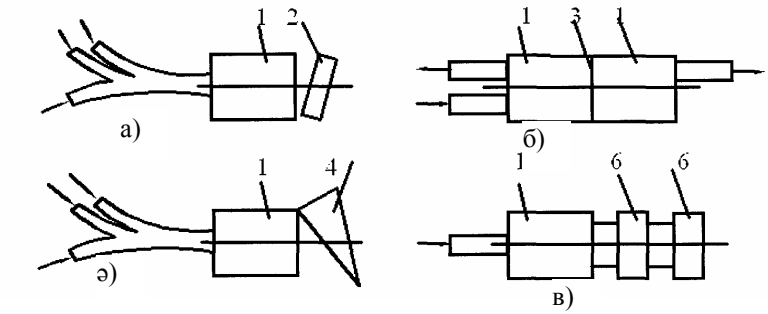
Оптикалық сүзгілердің белгіленуі қазіргі жүйеде 5.2-суретте көрсетілгендей болады. Қазіргі уақытта көрші оптикалық каналдардың арақашықтығы 100 ГГц ($\Delta\lambda = 0.8\,нм$) және көрші каналдардың ауысуының арақашықтығы 50ГГц ($\Delta\lambda$ =0,4 нм) деп есептеледі. Көрші каналдардың бәсеңдеуі бірнеше ондықтарды құруы керек.

Оптикалық мультиплексорлар әртүрлі толқын ұзындықтағы оптикалық каналдардың дыбыстары әртүрлі сәуле жолдарынан түседі. Оптикалық демультиплексорлар күрделі оптикалық сигналдан көптеген оптикалық каналдарды жеке оптикалық каналдарға бөлу үшін қолданылады. Демультиплексорлар бір талшық арқылы жүретін күрделі оптикалық дыбыстың әртүрлі талшықтарын жеке оптикалық каналдарға бөледі.



5.2 - сурет. Оптикалық сүзгілердің белгіленуі

Демультиплексордың жұмысы оптикалық сүзгілер жинағының жұмысына тең.



5.3 - сурет. Демультиплексорлар :
1) градиентті цилиндрлік линза; 2) дифракциялық тор; 3) хромдық сүзгі; 4) призма; 5) шағылысушы қабат; 6) іріктеуші фотодетекторлар

Мультиплексорлар мен демультиплексорлар – бұл пассивті құрылғы. Күште айтылғандай, мұндай құрылғы сол дайындықпен сигнал беру орнына және мультиплексорларға мен демультиплексорларға байланысты жұмыс істейді. Мультиплексормен демультиплексорлардың жұмысы 3 факторда, сезгіштік толқын ұзындығында негізделеді: бұрыштық дисперсия, интерференция және іріктеп сіңіру.

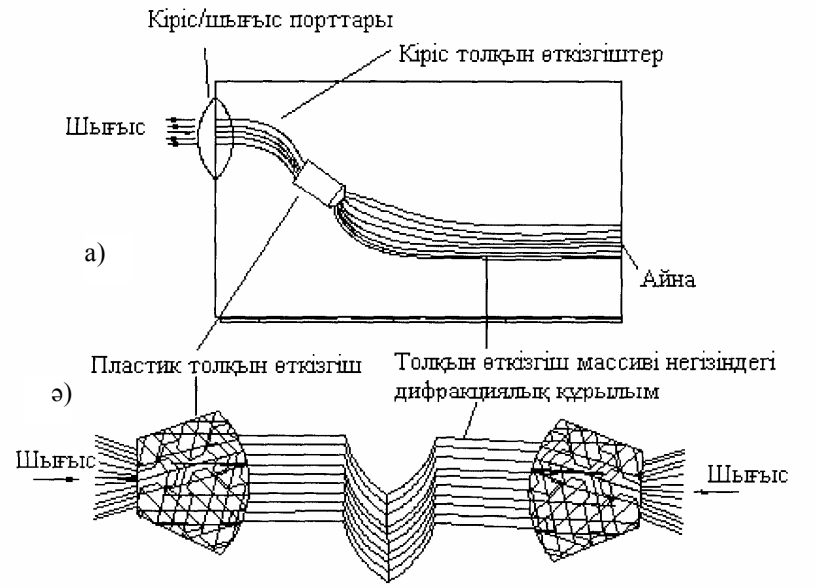
Демультиплексорлар 5.3а, 5.3ә-суреттерде әртүрлі каналдарда жарықтық ағынның ауытқуы және олардың торлардың бұрыштық дисперсиясы мен сәйкес призмаларға бөлінуі көрсетілген. 5.3б - суретте осы мақсаттар үшін интерференция қолданылады. 5.3-суретте каналдардың бөлінуі үшін жарық сіңіруші анықталған толқын ұзындығы қолданылады.

Тығыздау толық мультиплексорлар WDWM (сонымен қатар демультиплексорлау) жоғары таңдалған каналдарды кәдімгі толқындық мультиплексорлаумен (WDM) салыстырумен байланысты. Мультиплексордың – демультиплексордың типтік схемасы 5.4-суретте көрсетілген. Толқындық жол-пластина санымен ерекшеленетін екілік мультиплексорлық құрылымның жұмысын қарастырамыз. 5.4а-суреттегі схемада демультиплексорлық режимдегі түсуші дыбыс, сәулежол каналдардың қосындысы кірістік толқындық жол-пластинасына түседі және одан кейін үлкен сапалы толқындық жолдарға, яғни дифракциялық құрылымдарға үлестіріледі. Сондықтан әрбір оптикалық канал әрбір толқындық жолда қарастырылады. Содан кейін оптикалық дыбыс айналы бетте шағылады және толқындық жол – пластинаға, олардың интерференция және фокусталатын жеріне қайтадан түседі. Бұл жерде кеңістіктік максимальды алшақтату әртүрлі толқын ұзындықтармен сәйкесінше болады. Кеңістік жүйеде максимальдылар толқындық жолдардың кірістік орналасуына сәйкес жеке оптикалық каналдар шығысы (кірісі) үшін мәндес. Мұндай жағдайда мультиплексорлауда сол толқындық жол жеке оптикалық каналдардың кірісі үшін жұмыс істейді.

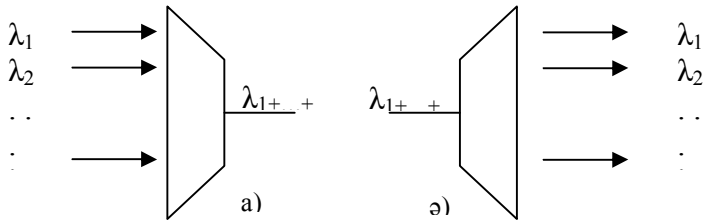
Қос толқындық жол-пластиннің қолданылуы оларды орындайтын функцияға бөлінуге байланысты. Бұл жерде фокустау және каналдардың бөлінуі жеке пластиналы болады. (5.4 ә-сурет) .

Толқындық жол мультиплексорлардың және демультиплексорлардың белгіленуі 5.5-суретте көрсетілген.

Мультиплексорлар және демультиплексорлар едәуір бәсеңдету дыбысын енгізеді. Бұл құрылғылардың шығындары 10-12дБ-ге жетеді. Сондықтан компенсациялық шығын үшін кванттық оптикалық күшейткіштердің үйлесімін қолдануға болады.



5.4 - сурет. DWDM мультиплексордың схемасы
а) шағылушы элементтері ә) екі толқындық жол-пластиналармен

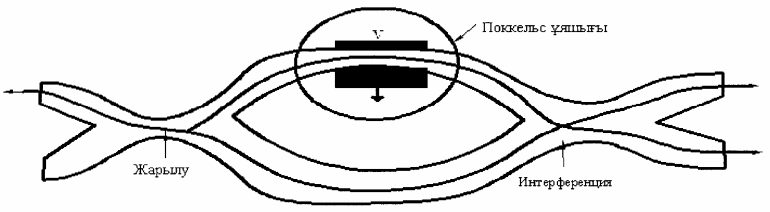


5.5 - сурет. Белгіленуі:
а) толқындық мультиплексорлардың;
ә) толқындық демультиплексорлардың.

5.2 Оптикалық жалғаушылар

Оптикалық тізбектің дамуына байланысты, жалғау да оптикалық әдіспен жүзеге асырылады. Оптикалық тізбектерде жалғаушыларды қолдану балама жолдарды ұйымдастыруға рұқсат етеді. Қазіргі кезде

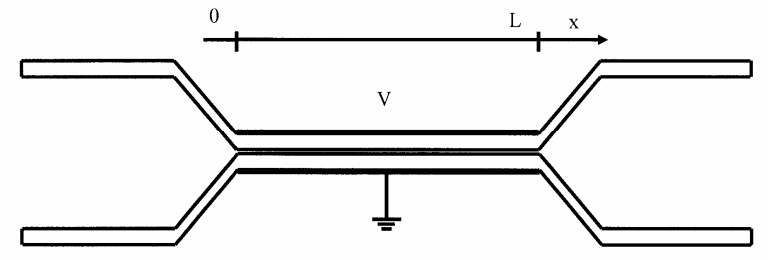
жалғаулар кіріс-шығысы 4х4, 8х8, 16х16 санымен іске асырылады. Оптикалық жалғаушылардың негізгі жұмысында оптикалық интерференция құбылысы жатыр.



5.6 - сурет. Екі иінді оптикалық тармақ-жалғаушы

Ол екі сәулежолдан тұрады, жарықтық сәуле басында кеңейтіледі, одан кейін бірігіп бір бүтін болады. Есеп-қисап бойынша сәулежолдағы бір кернеудің өзгеруі сыну көрсеткішін өзгертеді және осы сәулежол арқылы өтетін фаза дыбысы сәйкесінше болады. Екілік сәулежолдық күрделі дыбыстары өзімен бірге сигналдардың басым бөлігін алып келуі мүмкін. Мұндай құрылғы қоспаланған титан жалату, $LINbO_3$ кристалдарынан дайындалатын модулятордың сапасында қолданылуы мүмкін.

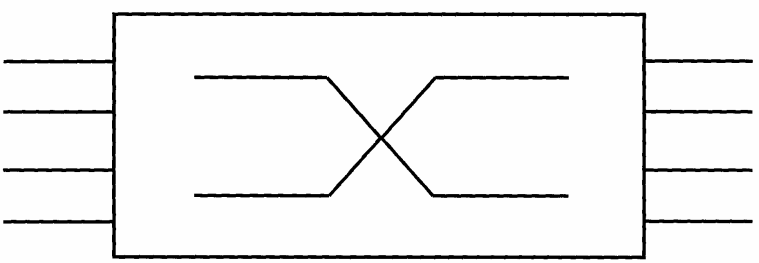
Жалғаушылардың осындай тағы бір түрі 5.7-суретпен байланысты. Онда екі сәулежол төсеніште бір-біріне өте жақын орналасады. Екі сәулежол арасында байланыс сыну коэффициентінің өзгеруі бойынша беру кернеуімен жүзеге асырылады.



5.7-сурет. Бағытталған тармақтаушы-ауыстырып қосқыш схемасы

Екі сәулежол арасында 100 % кернеу болмаса, онда дыбыс сәулежолдың біреуіне және басқасына түсуіне болады, бірақ кернеу берген кезде екі сәуежол арасындағы байланыс 0-ге төмендейді.

Жалғаулардың жылдамдығы жеткілікті жоғары $\approx 10^{-7}$ -10^{-8}сек. Оптикалық жалғаушының белгіленуі 5.8-суретте келтірілген.



5.8 - сурет. Оптикалық жалғаушының белгіленуі

6. ТОЛҚЫНДЫҚ КОНВЕРТОРЛАР

Оптикалық беру жүйесінің дамуы бұл құрылғыда да қажетті орын алады, басқа толқын ұзындығына беретін оптикалық дыбыста берілген толқын ұзындығын оптикалық шығу сигналы түрлендіре алады. Мұндай құрылғы толқындық конверторлар деген атау алды. Олардың құрылымы және сипаттамасы 6.1-суретте келтірілген.

Осындай және кәдімгі электрлік жиіліктерді түрлендіргіштердің негізгі жұмысы оптикалық конверторларды сызықты емес күйге түрлендіру.

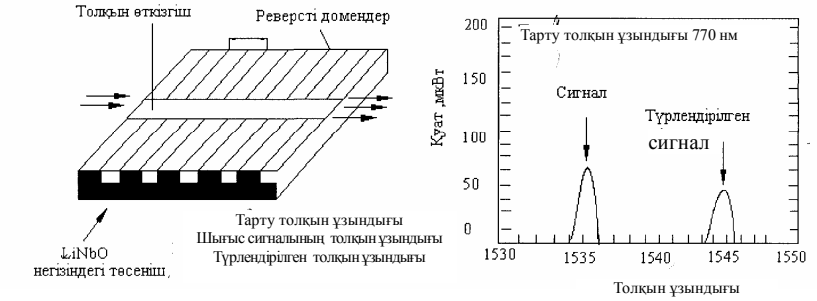
Оптикалық дыбыстарды оптикалық шығу дыбысымен өзара толықтырулармен байланысты.

Мұндай түрлендіргіштер жоғары жиілікті модуляцияда (40 Гбит/с-ке дейін және жоғары) жұмыс істей алады, олар кідіріс дыбыстарын кіргізбейді. Осындай құрылғының жұмыс істеу принципінде периодты құрылымның фотоэлектрлік кристалмен қолданылуы негізделген. Мұнда өзара сызықты әсер үшін шарт қойылған. Толқын ұзындығында генерация осындай құрылымда жүзеге асырылады.

$$1/\lambda_c = 1/\lambda_p - 1/\lambda_s$$

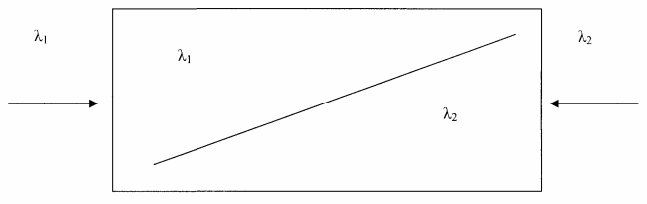
мұндағы λ_p=толықтырулардың толқын ұзындығы

λ_s=шығу дыбысының толқын ұзындығы



6.1 - сурет. Толқындық конвертор қуатының схемасы және қапталы
а) толқындық конвертордың периодты ферроэлектрлік құрылымымен схемасы
ә) қуаттың кіріс және шығыс дыбыстармен байланысы

Толқындық конверторлардың белгіленуі келесі түрде болады.



6.2 - сурет. Толқындық конверторлар

7. ОПТИКАЛЫҚ ОҚШАУЛАҒЫШТАР

Оптикалық оқшаулағыштар оптикалық дыбыстардан кванттық күшейткіштер мен генераторлардың, біртекті емес талшықтардан шартты шағылудың тәуелсіз жұмысын қамтамасыз етеді. Оптикалық оқшаулағыштардың негізгі жұмысы магниттік аймақта араластырылған, магнитоптикалық материалдарда айналу жазықтықтары сәуле шығару поляризациясын қамтамасыз ететін Фарадей ұяшығына салынған. Оптикалық оқшаулағыштың конструкциясы 7.1-суретте келтірілген.

Тұрақты магнит аймақта, өзара әсер етуші магнитоптикалық зат сәуле шығару поляризациясының жазықтығын 45^0 бұрышқа бұрады деп алынған. Поляризатордың арқасында кірісте горизонтальдық

поляризация құраушыны жояды, ол вертикальды поляризацияланған жарық фарадей ұяшығының шығысында 45^0 айналады. Шығыс поляризаторы сәуле шығаруды өткізеді. Шағылысқан жарықтық дыбыс анализатор және Фарадей ұяшығы арқылы өтеді, одан соң тағы да 45^0-қа бұрылады. Шағылысқан сәуленің бәсеңдеуі 30дБм-ге дейін жетеді.



7.1 - сурет. Оптикалық оқшаулағыштың конструкциясы

Бақылау сұрақтары:

1. ТОБЖ элементіне жалпы сипаттама беріңдер.
2. Оптикалық сүзгілердің әсер ету принципі және белгіленуі қандай?
3. Оптикалық мультиплексордың және демультиплексордың әсер ету принципін анықтаңдар.
4. ТОБЖ-да оптикалық жалғаушылар қандай рөл атқарады?
5. Оптикалық оқшаулағыштардың әсер ету принципі және белгіленуі қандай?

8. СӘУЛЕ ШЫҒАРУ КӨЗІ. СӘУЛЕДИОДТАР ЖӘНЕ ЖАРТЫЛАЙ ӨТКІЗГІШТІ ЛАЗЕРЛЕР

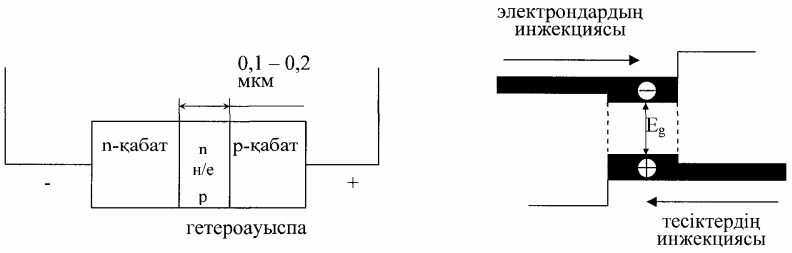
Жартылай өткізгішті жарық көзінің жұмысы сәуле шығарғыш рекомбинациясының материалдар қатарына негізделген. Сәуле шығарғыш рекомбинация процесі р-п өткелінде болады, мұнда есеп-қисап бойынша электрондар мен кемтіктердің инжекциясы олардың рекомбинациясында жүзеге асырылады. Сәуле шығару модуляциясы р-п өткеліндегі кернеудің өзгеруімен болады. Қазіргі кездегі сәуле шығару көзінің жарық генерациясының байланысы үшін гетероөткелі қолданылады.

Гетероөткелдің гомоөткелден өзгешелігі әртүрлі материалдарға қолданылатын түйіспені көрсетеді. Гетероқұрылым бір материалдың

беткі қабатын басқа материалмен жасайды. Қорытындысында тыйым салынған аймақ енінде әртүрлі түйіспелі гетероөткелінің аймағы және көрші п және р аймағы пайда болады. Сәуле шығару жиілігі λ_0 мкм.

$$\lambda_0 = \frac{h*c}{E} = \frac{1{,}24}{E}$$

мұндағы h=6,63*10^{-34}Дж*сек- Планк тұрақтысы, с= 3*10^{-8} м/сек-жарық жылдамдығы, Е- р-п аймағындағы тыйым салынған аймақтың ені, эВ.



8.1 - сурет. Екілік гетероқұрылым
а) гетероқұрылым; ә) тікелей ауытқу бойынша энергетикалық диаграмма;

Көрші р және п аймақтарында тыйым салынған аймақтың ені үлкен. Қабаттың сыну көрсеткіші, мұнда рекомбинация (р-п өткелі) көрші қабаттардың сыну көрсеткішінен жоғары болады, қорытындылай келе сәуле шығару тек қана активті қабатта таралады. Бұл маңыз гетероөткелді гомоөткелмен салыстыру бойынша КПД сәуле шығару көзінің артуына әсер етеді. Сәуле шығару көзінің гетероқұрылым материалының негізгісі болып GaAS және InP табылады. Олардан р және п аймақтары қалыптасады. Активті аймақта үштік және төрттік жалғаулар қолданылады.

Сәуледиодтар сәуле шығарғыш рекомбинация процесіне кездейсоқ когерентті емес жарық шашады. Бұл рекомбинация кез келген деңгейдегі өткізгіш аймақтағы электрондар өткелімен байланысты. Осыдан кейін сәуле диодтардың (60 нм-ге дейін) сәуле шығару кең спектрі пайда болады.

Төмен тығыздықты ток (~100÷200 мгГц) модуляцияның төмен жолақты жиілігімен сәуле шығаруды алу үшін қолданылады, ол лазерге қарағанда 5–10 есе кем.

8.1 – кесте

Әртүрлі толқын ұзындықтағы сәуле шығару

Активті материал	Төсеніш	Мүмкіндік мәндердің диапозоны E_g,эВ	Шағылысатын толқын ұзындығының диапозоны λ, нм
$Ga_{(1-x)}AL_xAs$	GaAs	2,02…1,42	610…870
$In_{(1-x)}Ga_xAs_yP_{(1-y)}$	InP	0,95	1100…1700
$In_{0.73}Ga_{0.27}As_{0.58}P_{0.42}$	InP	0,95	1310
$In_{0.58}Ga_{0.42}As_{0.9}P_{0.1}$	InP	0,95	1550

8.1 Лазерлік диодтар

Лазерлік диодтар сәуледиодқа қарағанда екі фактормен сипатталады. Ватт-амперлік сипаттамада сәуле диодтың жартылай өткізгіш лазерден өзгешелігі оның қолданылуында. Лазерлік диодтар сандық оптикалық дыбыстарды алу үшін, ал сәуледиодтар аналогті дыбыстарды алу үшін қолданылады.

Лазерде резонаторлар гетероөткелдің беттік екі бүйір жағын орындайтын қаптауды қолдануымен байланысты, сонымен бірге бір қаптау сәуле шығару нәтижесі үшін жартылай мөлдір болып жасалады. Резонаторда толқын ұзындығының тек қана тұрғын толқыны болуы мүмкін:

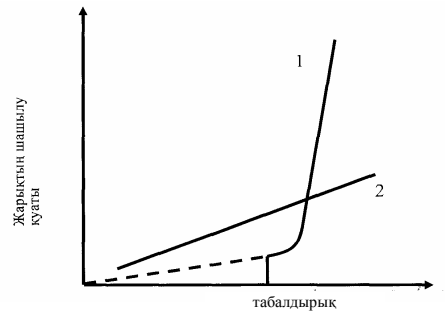
$$\lambda = \frac{2D}{N}.$$

Мұндағы D – резонаторлармен N – кейбір нақты сандардың арасындағы қашықтық.

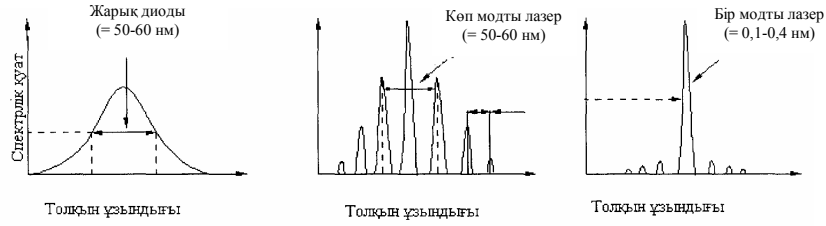
Лазерлердің осындай түрі, толқынның толық жинағы сәуле шығарады және олар көп модты лазерлер деген атау алды (5.3-сурет).

Сәуле шығару спекторінің кеңейтілуі дисперсияның ұлғаюын береді. Осы кемшілікті болдырмау үшін бір модты лазердің жұмыс режимін қамтамасыз ету тиіс, сонымен бірге лазердің өзінің сәуле шығару спектрін қысқарту керек. Осы мақсатпен бірге резонаторда дифракциялық тор диодтың ішінде табылуы мүмкін.

Лазерлі диодтар толқын ұзындығы жеткілікті кең шектерде орын алады (30 нм дейін). Осындай диодтардың реомизациясы үшін дифракциялық тор p-n өткелінің сыртында орнатылады, торға дейінгі арақашықтықты және торлардағы бұрылысқа сәуле беретін қатынас бойынша торлардың қадамын өзгертуге болады.



8.2 – сурет. Ватт-амперлік сипаттама



8.3 - сурет. Жарық диодымен лазерлік диодтың сәулелену спектрі

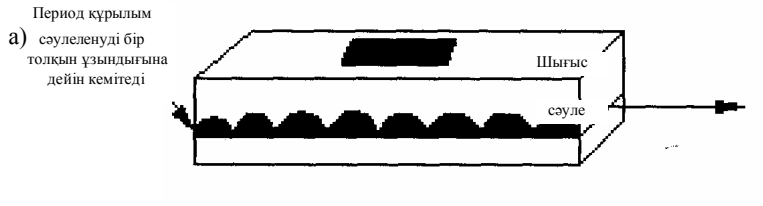
Мұндай лазерлер толқындық тығыздық жүйесінде қолданылады. 8.4- суретте келтірілген барлық лазерлік диодтардың жолақ және сәуле шығару тұрақтылығы бойынша спектрлік сипаттамалары ұқсас.

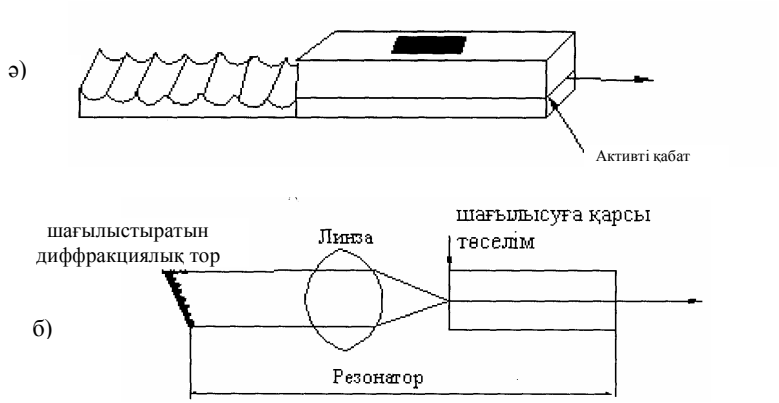
8.4 - сурет бойынша лазерлік диодтардың үш негізгі типі:

1. Активті қабаттағы дифракциялық торлармен бірге лазер;

2. Активті қабаттың сыртындағы дифракциялық торлармен бірге лазер;

3. Басқаруға болатын жағдайдағы ішкі дифракциялық торлармен бірге лазер.





8.4 - сурет. Спектрлік сипаттама

1) Мұндай лазерлер толқындық тығыздық жүйесінде қолданылады. 8.4-суретте келтірілген барлық лазерлік диодтардың жолақ және сәуле шығару тұрақтылығы бойынша спектрлік сипаттамалары ұқсас.

8.4-сурет бойынша лазерлік диодтардың үш негізгі типі:

1. Активті қабаттағы дифракциялық торлармен бірге лазер.

2. Активті қабаттың сыртындағы дифракциялық торлармен бірге лазер.

3. Басқаруға болатын жағдайдағы ішкі дифракциялық торлармен бірге лазер.

Бақылау сұрақтары:

1) Сәуле диодтарда және лазерлерде неге гетероқұрылым қолданылады?

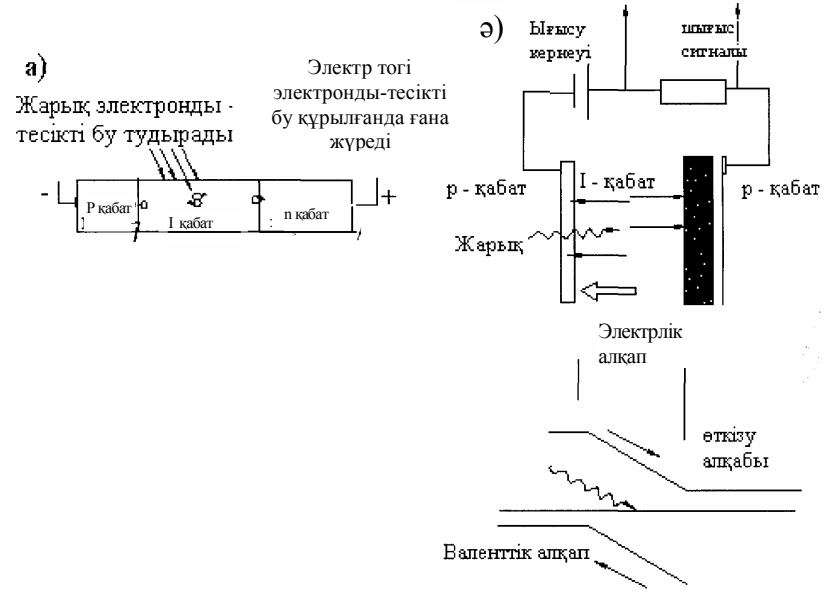
2) Сәуле диодтың негізгі қасиеті және сипаттамасы.

3) Лазерлік диодтан сәуле диод сипаттамасының өзгешелігі немен байланысты?

9. САУЛЕ ШЫҒАРУ ҚАБЫЛДАҒЫШТАРЫ. ФОТОДИОДТАР

Электрлікте оптикалық сигналдарды түрлендіру үшін фотоқабылдағыштар қолданылады, ішкі фотоэффектіде электр-өткізгішті жартылай өткізгіш аспаптың ұлғаюы есеп-қисап бойынша фотонның жұтылуы мен тыйым салынған аймақтың енін үлкейтумен байланысты. ТОБЖ- да ең көп эффектілі олардың қасиетінде p-i-n фоториядының қолданылуы болып табылады: тез әсер етуші

параметрлердің тұрақтылығы, принципі және оның энергетикалық диаграммасының деңгейі.



9.1 - сурет. Құрылғының қосылуы (а) және p-i-n диодының әсер етуі

p-i-n фотодиод (9.1-сурет) p+ және n+ қабатындағы кәдімгі p-i-n диодтары конструкторлы ерекшеленеді, мұнда легирлеу қоспаларымен өте жоғары және бірнеше ондық микрометр n-типті қалыңдықты легирлеу осы екі қабаттың і қабатында өте әлсіз болады. Осындай конструктивті шешімдерді қорытындылайды. Ішкі электрлік аумақ і қабатына фотодиодтарды өзінің шуылдарын төмендету мақсатында қайтадан қосылады. І қабатына жарық тасушылыр түседі, электрлік поляның әсерінен олар бөлінеді және жылдамдатылады, ішкі электродтарды жарықтық ток құра отырып қуып жетеді. І облысындағы дрейф тасушылармен p-n фотодиодындағы диффузия p-i-n фотодиодтарының ерекше бір қасиеті болып табылады. Ток фотодиоды р дыбысына жарықтық қуат беру әсерінен төмендегідей болады:

$$I_{фл} = \frac{P_c \cdot q}{h \cdot v} \cdot \eta = s \cdot p \,, \qquad (9.1)$$

Мұндағы q – электрон заряды, h – планк тұрақтысы, v – сәуле шығыру жиілігі, B – фотодиод материалының кванттық эффектісі, S – фотодиод сезгіштігі.

Фотодиодта әртүрлі жартылай өткізгіш материалдардың пайдаланылуы. Олардың сәуле жолдары кварцтық әртүрлі мөлдір терезелердің қолданылуына себепші болады. (9.1-кесте)

9.1- кесте

Сәуле жолдарының қолданылуы

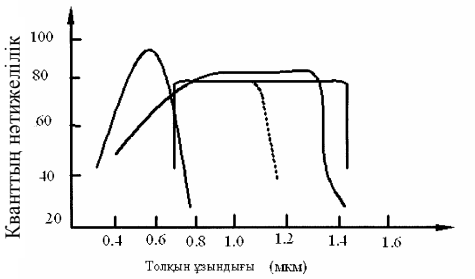
Материал	Қабылданатын λ толқын ұзындығы аралықтары
Кремний	400-1000
Германий	600-1600
GaAs	800-1000
InGaAs	1000-1700
InGaAsP*	1100-1600

9.2-суретте көріп тұрғанымыздай кванттық эффектінің әртүрлі материалдар үшін толқын ұзындығына байланысы λ~1.550 мкм. Мөлдір лазерлер үшін германий және индий-галий, арсений көбіне қолайлы болып келеді.

Өзіндік шуылдар деңгейі көптеген қажетті көрсеткіш ішінен фотодиодтардың сипаттамасы болып табылады. Бұл көрсеткіш кері регенерациялық пункттердің арақашықтығына әсер етеді, фотодиодтарда шуылдардың негізгі көзі бөлшектік шуылдар болып табылады. Бөлшектік шуылдар тогі

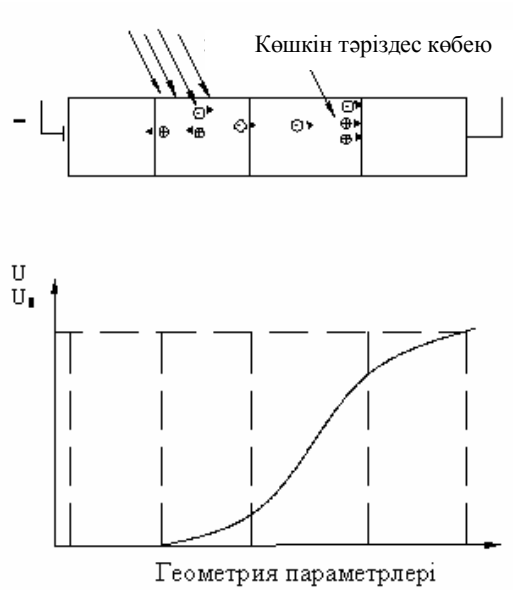
$$I_{ДРШ} = \sqrt{2 \cdot q \cdot I_0 \cdot \Delta f} = \sqrt{2 \cdot q \cdot I_0 \cdot B}\,, \qquad (9.2)$$

мұндағы q – электрон заряды, $\Delta f \Rightarrow B$ – пайдаланылған жолақ жиілігі немесе беру сигналына сәйкес жылдамдық. Фотодиодтардағы кері ауытқу I_0 қараңғы ток шамасымен анықталады. Әртүрлі фотодиодтар үшін 9.2-кестеде мәндер келтірілген. 9.1-кесте әртүрлі толқын ұзындықтарда фотоқабылдағыштарды жасау үшін қолданатын композициялық материалдар және элементар материал λ толқын ұзындығына қабылдайтын диапазон.



9.2 - сурет. Кванттық эффектілердің әртүрлі толқын ұзындығына байланысы

9.2 Фотоқабылдағыштың типтік сипаттамасы



9.3 - сурет. Көшкіндік фотодиодтың қосылу және бөліну потенциалының құрылымы

Қараңғы токтың шамасы температураға байланысты, сондықтан бұл өзгеріс бірнеше ондық градустарда температураның өзгеруімен тізім құрады.

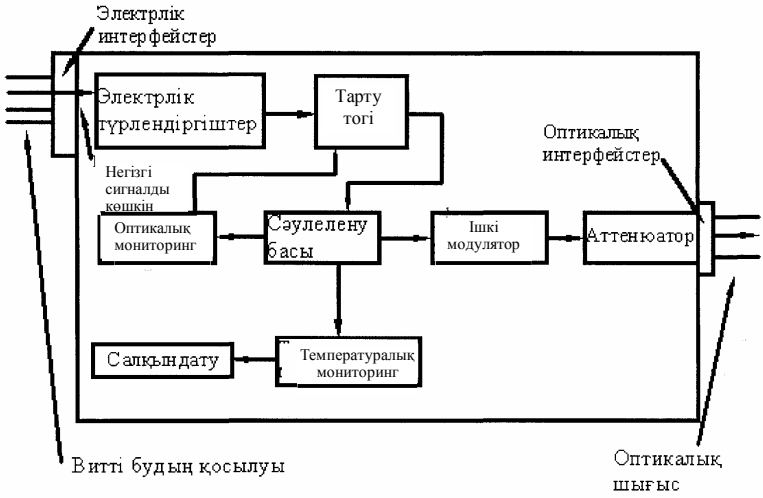
10. ЖІБЕРУ ЖӘНЕ ҚАБЫЛДАУ ОПТИКАЛЫҚ МОДУЛЬДЕРІ

Оптикалық байланысты ұйымдастыру кезінде лазерлік және сәулediодтардың жұмыс істеуі үшін ерекше жағдай жасау қажеттілігі, сонымен қатар электрондық сигналмен сәулелендіру модуляциясын қамтамасыз ету, жеке жіберу оптикалық модульдерін (ЖОМ) іске асыру қажеттілігін анықтады. Сәулелену көзінің параметрлеріне температураның әсер етуі ерекше маңызды факторлар болып есептеледі. Осылай сәулелену қуаты температура ±1-ге өзгерген кезде ±10-ға дейін өзгереді, ал сәулелену толқын ұзындығы ~0,1нм/°С шамасына дейін өзгереді. Әрине осындай әсерлердің бар болуы, сәулелену көздерінің температуралық режимін бірқалыпты ұстап тұру үшін, жылусейілткішті де, суытқышты да қолдануға мәжбүрлейді. Лазердің артқы шегінен шығатын сәулеленуді детектрлейтін кері байланыстағы фотодиодты қолдану арқылы сәулелену қуатын тұрақтандыруға мүмкіндік туды.

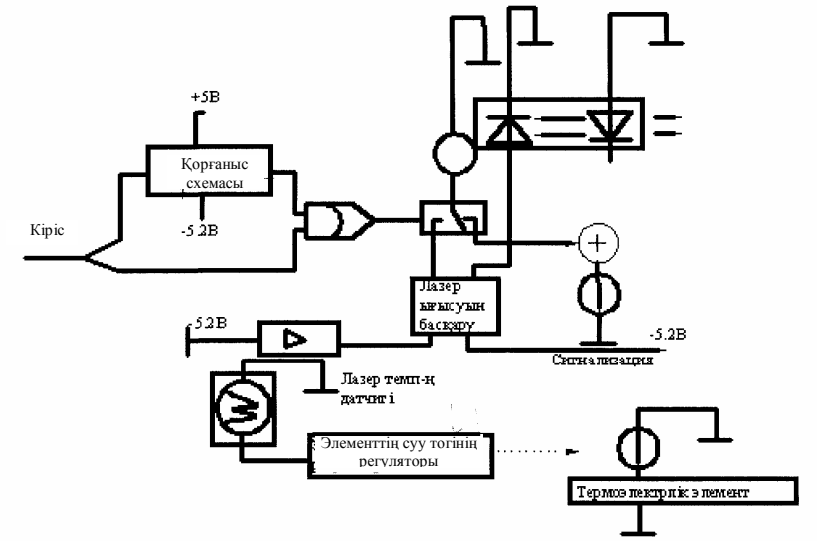
ЖОМ-ның керекті элементтері мен блок-схемасы ең жалпылама түрде 10.1- суретте көрсетілген.

Жіберу оптикалық модульдерінде электрлік және оптикалық интерфейстер сигналдардың кірісі мен шығысын қамтамасыз етеді.

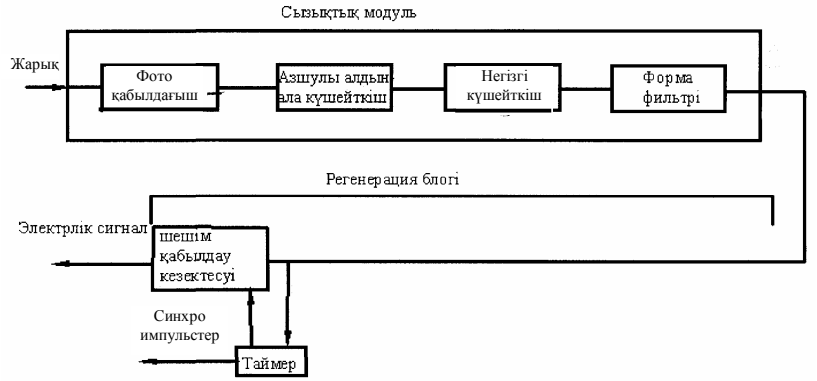
ЖОМ-ның кейбір ерекшеліктері 10.2 - суретте көрсетілген.



10.1 – сурет. Жіберу оптикалық модульдерінің құрамдық элементтері



10.2 – сурет. Лазерлік диоды бар модульдің принципиалдық схемасы



10.3–сурет. Қабылдау оптоэлектронды сандық модульдердің функционалды элементтері

ЖОМ-ның негізгі параметрлері: сәулелену қуаты, сәулелену толқынының ұзындығы, жарамдылық мерзімі, жұмыс температураларының диапазоны, ЖОМ-ның тез әрекеттілігі, тұтынатын қуаты.

Сол сияқты, қабылдау оптикалық модульдерінің де маңызы өте зор. Бірақ олардың жұмыс функциялары өзгеше болады. ҚОМ-ның құрылымдық схемасы 10.3 -суретте көрсетілген.

ЖОМ сияқты ҚОМ да регенерацияның соңғы, аралық, қызмет көрсететін, көрсетпейтін пункттерінің құрамына кіреді. ҚОМ-да информацияның оптикалық кірісі және электрлік шығысы бар. Фотоқабылдағыш ретінде ҚОМ-да фотодиод қолданылады. ҚОМ-ға қойылатын нақты талаптардың бірі, қабылданатын сигналға минимальды қосымша шуларды киргізу болып есептеледі. Себебі бұған сигналдың кедергіден сақтанғыштығы, сәйкесінше регенераторлардың қашықтығы байланысты. Бұл мақсатта азшулы ҚОМ-ды қолданады. Негізгі күшейтуді бас күшейткіш қамтамасыз етеді. Фильтр шулар деңгейін төмендету мақсатында сигнал формасын түзетеді және күшейту сызығын шектейді.

ҚОМ-да, регенерация құрылғысында дұрыс шешім қабылдау үшін АРУ-ды қолдануға болады. Таймер синхронизация сигналын ерекшелеу үшін қолданылады. ҚОМ-ның негізгі параметрлері: толқынның жұмыстық ұзындығы, өткізу сызығы, сигнал-шу қатынасы, қателіктер коэффициенті.

Бақылау сұрақтары:

1) ЖОМ және ҚОМ-ды қолдану керектігін түсіндіріңіз.
2) ЖОМ-ң жұмысын қандай элементтер қамтамасыз етеді?
3) ҚОМ-ң жұмысын қандай элементтер қамтамасыз етеді?
4) ЖОМ және ҚОМ-ң параметрлерін сипаттаңыз.

11. ТОБЖ-ның СЫЗЫҚТЫҚ ТРАКТІСІ. РЕГЕНЕРАТОР

Белгілі ұзындығы бар оптикалық сәулелену, толқын жіберу және кабельдің сөнуінің компенсациясын қамтамасыз ету, кабельдің дисперсиясы үшін болатын сигналдың бұрмалануын түзету, сигналдың белгіленген кедергіден сақтанғыштығын қамтамасыз ету үшін қолданылатын байланыстың оптикалық сызығының техникалық құрылғылар жиынтығы – оптикалық сызықты тракт деген атауға ие болды.

Сандық жіберу жүйелерінің аналогтіліге қарағандағы артықшылығының арқасында сандық ТОЖЖ-ң кедергіден сақтанғыштығы 20–25дБм жоғары емес, ал аналогті жүйелерде бұл кедергіден сақтанғыштық 50–60дБм.

Электрлі кабельді жүйелердің сызықты трактілеріне қарағанда оптикалық жүйелерде жіберу жиіліктерінің сызығы (немесе сәйкесінше жіберу жылдамдығы) бірнеше ретке жоғарырақ болуы мүмкін, бұл оптикалық тасымалдағыштардың өте жоғарғы жиілігіне (10^{15}Гц) байланысты. Кабель сөнуінің өте төменгі көрсеткіштерінің (0,2дБ/км – дейін, λ=1,55мкм болғанда) арқасында регенераторлар

арасындағы қашықтық ≈100 км шамасына жетуі мүмкін, бұл да оптикалық сызықты трактті электрліктен ерекшелейді. Оптикалық кабельді сызықтарда өзіндік кедергілер деңгейі электрлік кабельді сызығымен салыстырғанда төмен болады.

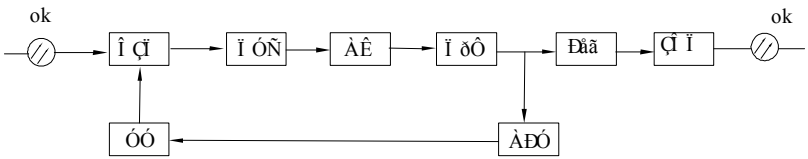
11.1 Оптикалық сигналдардың регенераторы

Оптикалық сигналдарды жіберу кезінде сигналдардың әлсізденуі де, дисперсияның әсерінен оның формасының өзгеруі де болады. Әлсіз сигналды күшейтуге және оның бастапқы формасын қалпына келтіруге арналған құрылғының жалпы атауы ретранслятор.

Ретранслятор екі құрылғыға бөлінеді — оптикалық күшейткіштер және қайталаушылар (регенераторлар).

Кванттық оптикалық күшейткіштерді қолдану тек қана дисперсияның әсері өте үлкен болмағанда және сигналды тануға болатын жағдайда, басқаша айтқанда «0»-ді «1»-ден ажырата алғанда тиімді. Сондай-ақ, күшейткіштер сигналдың формасын қалпына келтірмейді, қабылданатын сигналға қосымша шулар енгізеді. Сондықтан олардың саны белгіленген кедергіден сақтанғыштықпен (қателіктер коэффициентімен) және сигналдың дисперсия бойынша берілуімен шектеледі.

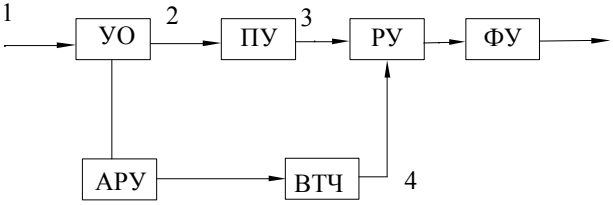
Сандық қайталаушыларда сигнал күшейтіліп қана қоймай, түзетіледі. Сигнал регенерациясының бар болуы енгізілетін шуларды жоюға мүмкіндік береді. Регенераторды регенерация блогімен бірге жіберуді және қабылдауды оптикалық модульдің жиынтығы ретінде қарастыруға болады. Оптикалық күшейткіштердің рөлі, толқындық қалыңдау негізіндегі жіберу жағдайында күрт өседі, себебі күшейткіш бір уақытта әртүрлі оптикалық тасымалдаушылардағы барлық оптикалық сигналдарды күшейтеді. Бірақ бұл жағдайда да регенераторларды соңғы станцияларда орнату керек. Регенератор — қайталаушының жалпы құрылымдық схемасы 11.1–суретте көрсетілген.



11.1 – сурет. Сандық ретранслятордың жалпылама құрылымдық схемасы

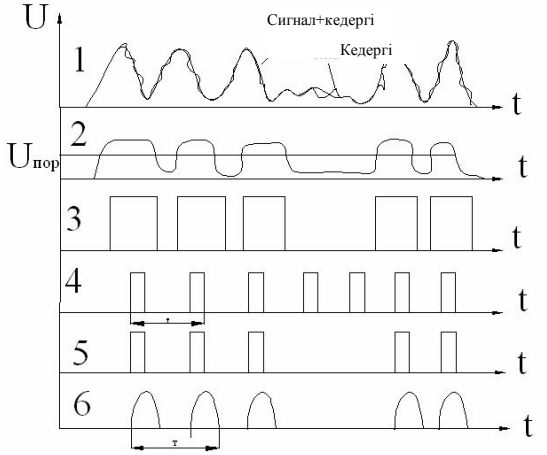
Сызықты оптикалық кабельден (ОК) келетін сигнал оптоэлектронды түрлендіргіште (ОЭТ) электрлік сигналға түрленеді. Мұндай түрлендіргіш ретінде кері жылжытылған фотодиод қолданылады. Содан кейін электрлік сигнал өзіндік шулар деңгейі төмен күшейткішке түседі. Амплитудалық корректордың тапсырмасы ОК дисперсиясымен байланысты бұрмаланулардың белгілі бөлігін жою болып табылады. Қабылдау филтрі (ҚФ) шуларды және жиіліктердің пайдалы сызығынан тыс кедергілерді жою үшін сигналдың спектрімен сәйкес жиіліктер сызығын шектейді. Күшейтуді автоматты реттеу және басқару құрылғысының бар болуы, ОЭТ және кабель қасиеттерінің деградациясынан болатын құрылғы кірісіндегі сигнал өзгерген кезде, регенератор кірісіндегі кіріс сигнал деңгейінің тұрақтылығын қамтамасыз етеді. Регенератор импульстердің формасын қалпына келтіретін құрылғы болып табылады. Электрлі-оптикалық түрлендіргіш электрлік импульстер тізбегін сәйкесінше оптикалық импульстер тізбегіне түрлендіреді.

Сигналдар регенераторының жұмысын жеке қарастырсақ, сигнал қабылдау фильтрінің шығысынан шектеуші күшейткішке түседі. Бұл күшейткіш, шешуші құрылғысының көмегімен сигналдағы бірлік және нөлдік посылка туралы дұрыс шешім қабылдау үшін сигнал деңгейінің тұрақтылығын қосымша қамтамасыз ететін тағы бір АРУ схемасын басқарады. Амплитудаларды шектеу арқылы кедергілердің бір бөлігін жоюға болады. Кіру құрылғысы шешуші құрылғының кірісіне сигналдың жіберілуін қамтамасыз етеді, егер сигнал деңгейі кірістен жоғары болса шешуші құрылғыға бір уақытта кіріс құрылғысынан импульстер тізбегі де, тактілік жиілікті бөлушіде қалыптасқан тактілік жиіліктің қысқа импульстері де беріледі. Тактілік жиілік импульстері мен сигналдық импульстер уақыт бойынша сәйкес болғанда шешуші құрылғы шығысынан қалыптастыру құрылғысына импульстер түседі. Қалыптастыру құрылғысы мультивибратор болып келеді. Ол түсетін импульстермен қосылып, формасы оптикалық жіберушідегі бастапқыға сәйкес келетін импульстерді қалыптастырады.



11.2 – сурет. Регенераторлардың қосылуы

Регенератордың суреттелген мүмкіндіктерінің арқасында ол кедергілерді жойып, сигналды толық қалпына келтіруге мүмкіндік береді.



11.3 – сурет. Регенератордың жұмыстық диаграммасы

Бақылау сұрақтары:

1) Күшейткіштер мен қайталаушылырды қолданудағы айырмашылық қандай?
2) Ретрансляторлар блоктарының негізгі тағайындалуы қандай?
3) Сандық ретрансляторының жұмысын түсіндіріңіз.
4) Регенератор қандай функцияларды атқарады?

12. КВАНТТЫҚ ОПТИКАЛЫҚ КҮШЕЙТКІШТЕР

Көп каналды оптикалық жүйелерді қарастыру, сонымен қатар, регенераторлар арасындағы қашықтықты ұлғайтуға ұмтылу кванттық оптикалық күшейткіштердің дамуына жағдай жасады. Нөлдік ығысу дисперсиясы болатын оптикалық бір модты кабельдерді қолдану арқылы, күшейткіштер қымбат регенерация жүйелерінен бас тартуға және талшықты оптикалық кабель жібімен берілетін информацияның көлемін кеңейтуге мүмкіндік берді.

Регенераторға қарағанда оптикалық күшейткіш оптикалық сигналды, электрлікке түрлендірмей бірден күшейтеді. Сонымен қатар, күшейткіш сигналдың формасын қалпына келтірмейді, ол қосымша шуларды енгізеді. Көп каналды оптикалық жүйеде регенератор әр оптикалық канал үшін әр пунктте керек болса, оның орнына барлық

оптикалық каналдарға тек қана бір оптикалық күшейткіш керек. Қарапайымдылық пен жоғарғы сенімділік — кванттық оптикалық күшейткіштердің тартымды жағы. Кванттық күшейткіш сигналдарды жіберу жылдамдығына байланысты емес, бұл тек регенераторға тән нәрсе.

Кванттық оптикалық күшейткіштерді келесілерді қолдану негізінде іске асыру мүмкін:

- Жартылай өткізгішті р-п өткелі принциптері
- Қоспалы оптикалық талшықтар

Жартылай өткізгішті лазерлік күшейткіштер екі кемшілігі үшін кең таралған жоқ. Олардың жарық шығарғыш активті қабатының бір микрометр шамасындағы қалыңдығы бар, ал бұл жарықтағы айтарлықтай үлкен кіріс жарықтықтан келетін жарық ағынын шектейді. Ағындарды фокустеуші линзаның көмегімен келістіру конструкцияны қиындатады.

Сонымен қатар жартылай өткізгішті кванттық күшейткішті күшейту сәулелену поляризациясына байланысты, жарықөткізгіштегі поляризацияны бақылау мүмкіндігінің жоқтығы мұндай күшейткіштерде 4-8дБ жоғалтуына әкеледі. Сондықтан жартылай өткізгішті кванттық күшейткіштерді қолдану, тек олар сәулелену көзімен интегралды іске асырылса ғана тиімді болады.

Кванттық оптикалық күшейткіштің құрылымы 12.1-суретте көрсетілген. Кванттық күшейткіштің жұмысы бір модты талшық негізінде құрастырылған. Оптикалық талшықтың өзі кремнийлік немесе фото-цирконды негізде дайындалуы мүмкін.

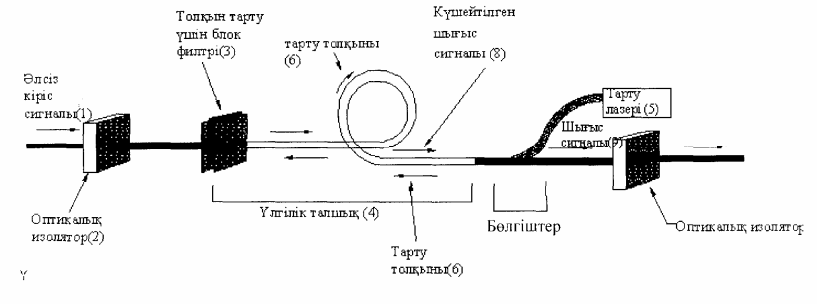
Оптикалық талшықтардың ортасы эрбий қоспасының арқасында активті орта болып келеді. Бұл ортаны сыртқы лазермен тарту эрбийдің қоспалық атомдарының энергетикалық күйі бойынша үш деңгейлі атомдық жүйенің қалыптасуын қамтамасыз етеді (12.2-сурет).

Атомдардың негізгі күйінің атомдары тарту арқылы (А деңгейі) қозу күйіне өтеді.

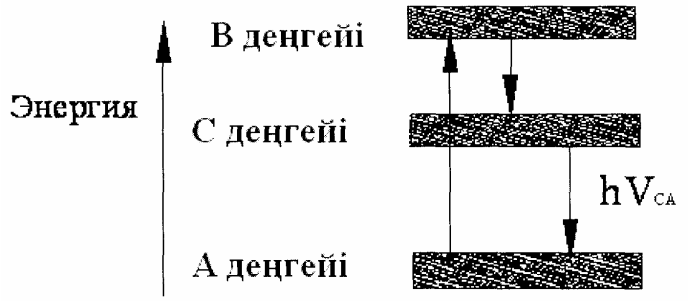
(В деңгейі). Тарту энергиясы:

$$\Delta W=h\nu(AB), \qquad (12.1)$$

қосымша лазердің толқын ұзындығына λ=980 нм сәйкес. Содан кейін электрондар В деңгейінен өтпелі С деңгейіне өтеді. Бұл деңгей айтарлықтай көп өмір сүреді. Мұндай жүйе С-дан А-ға дейінгі өткелге сәйкес болып толқын ұзындығында оптикалық сигнал пайда болғанда бұл сигналды күшейтеді.

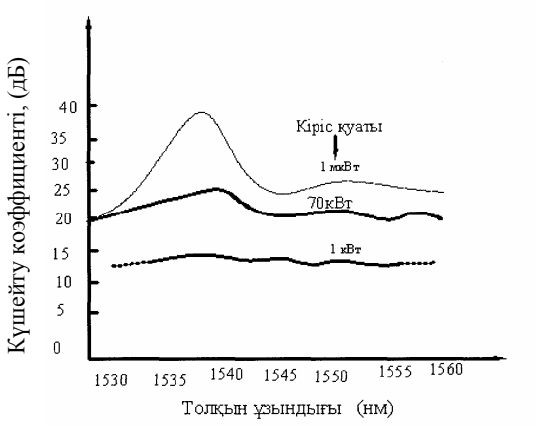


12.1 – сурет. Қоспалы талшықтағы оптикалық күшейткіш



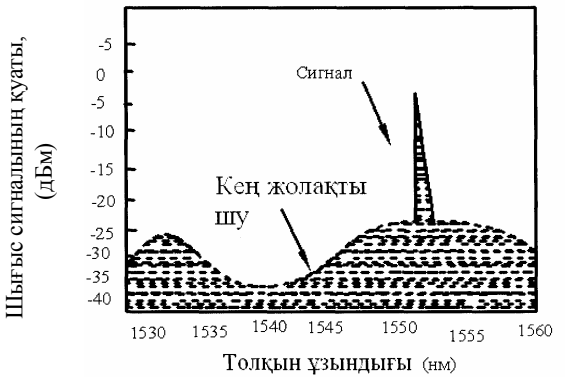
12.2 – сурет. Қоспалы талшықтағы күшейткіштің атомдық жүйе деңгейлерінің энергетикалық диаграммасы

Эрбиймен легирленген кремнийлік талшық оптикалық сигналдың күшейту диапазонын 1530–1560 нм дейін береді. Бұл принципті іске асыратын оптикалық күшейткіш құрылымына келсек (12.1 – сурет), ондағы әлсіз өтетін жарықты қамтамасыз ететін оптикалық винтель арқылы жарық ағынын тарту жиілігінде таралуын жоятын, бірақ кіріс оптикалық сигналды жіберетін фильтрге түсіп, катушка түрінде орындалған ұзындығы 1,5–2 метр кабель кесіндісіне келеді. Таңдаушы сейілткіш және оптикалық винтель жарық сигналын шығыс талшыққа жеткізеді.



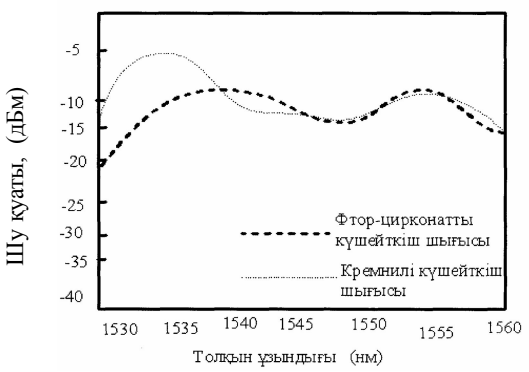
12.3 – сурет. Кіріс оптикалық сигналы қуатының әртүрлі мәндері кезіндегі кремнийлік кванттық күшейткіштің күшейту коэффициенті

Кванттық оптикалық күшейткіштің ерекшелігі, олардың күшейту коэффициенті кіріс сигналының амплитудасына және толқын ұзындығына байланыстылығында. Амплитуда өскен сайын күшейтілу төмендейді, ал шығысындағы сигнал қанығуға ұмтылады (12.3 – сурет).

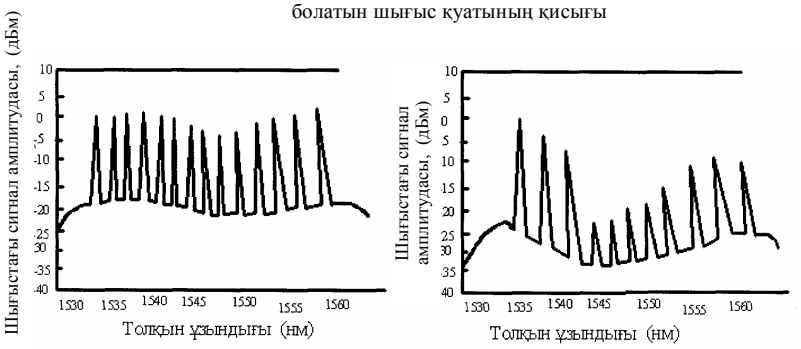


12.4 – сурет. Кванттық оптикалық күшейткіштегі сигнал және шу қуаты

Оптикалық күшейткіштердің тағы бір ерекшелігі үлкен қуаттағы өзіндік шулардың болуы. (12.4 – сурет)



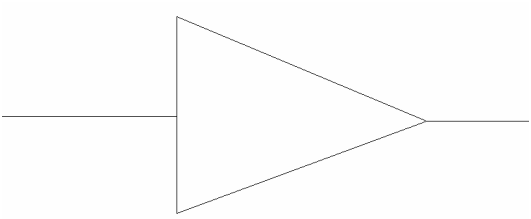
12.5 – сурет. Кіріс сигналы жоқ болғанда, кіріс шуының қуаты ретінде болатын шығыс қуатының қисығы



12.6 – сурет. Күшейткіш кірісіне сигнал келгендегі шығыс қуатының қисығы:
а) фтор-цирконат негізіндегі; ә) кремний негізіндегі

Шулардың бар болуы кванттық күшейткіштері бар аралық пункттер санын шектейді және күшейткіштермен қатар регенераторларды қолдануды талап етеді. Сонымен қатар, толқындардың әртүрлі ұзындықтарындағы бірқалыпсыз күшейту бір оптикалық каналдарда басқаларына қарағанда сигнал/шу қатынасының нашарлауына әкеледі. Бұл жағдайда фтор-цирконатты негіздегі күшейткіштерді қолдану тиімдірек.

Бірақ фтор-цирконатты күшейткіштердің шулар деңгейі жоғарырақ. Мұндай күшейткіштердің технологиясын жетілдіру керек. Кванттық оптикалық күшейткіштердің белгіленуі 12.7–суретте келтірілген.



12.7 – сурет. Кванттық күшейткіштердің белгіленуі

Кванттық оптикалық күшейткіштер негізінен толығымен оптикалық жүйелер мен оптикалық желілер үшін арналған.

WDW (Wavelength Division Multiplexing) технологиясы – толқындық мультиплексорлау және DWDM (қалың толқындық мультиплексорлау) технологиясы көпканалды оптикалық жүйелерді құруға мүмкіндіктер туғызады.

Мұндай жүйелерде қолданылатын кванттық оптикалық күшейткіштер бірқатар параметрлермен анықталады:

1. $P_{шығ.қан}$ – максимальды шығыс қуатын анықтайтын қанығу қуатымен

Максимальды қуат 36дБ(4Вт) асуы мүмкін.

2. Күшейту коэффициентімен

$$g=10\lg Pc.шығ/Pc.кір, \qquad (12.2)$$

мұндағы, Рс.шығ, Рс.кір — сәйкесінше сигналдың шығыс және кіріс қуаты. Ақырғы күшейту ≈40дБ болуы мүмкін.

3. Шу-факторымен, ол кірістегі сигнал/шу мен шығыстағы сигнал/шу қатынасымен анықталады.:

$$NF=(Pc.кір/ Pш.кір)/(Pc.шығ/Pш.шығ) \qquad (12.3)$$

Бұл коэффициенттің кестелік мәні NF=5-6дБ.

Арналуына қарай кванттық оптикалық күшейткіштер алдын ала күшейткіштері, сызықты күшейткіштер және қуат күшейткіштері болып бөлінеді.

Алдын ала күшейткіштер регенератордың кірісінде орнатылып, шығысындағы сигнал/шу қатынасының өсуін қамтамасыз етеді.

Егер сигналдың бұрмалануы керек болмаса, сызықты күшейткіштер регенераторларды алмастырады.

Қуат күшейткіштері лазерлік таратқыштардың шығысында орнатылады және олар аралық күшейту пункттері қашықтығын үлкейтуге мүмкіндік туғызады.

Бақылау сұрақтары:

1) Эрбиймен легирленген талшық негізіндегі кванттық күшейткіштің жұмыс істеу принципі мен конструкциясы қандай?

2) Кванттық күшейткіштердің қандай параметрлері мен сипаттамаларын білесіздер?

3) Кванттық күшейткіштердің қолдану аумағын көрсетіңіз.

4) Неліктен жартылай өткізгішті кванттық күшейткіштер көп қолданылмайды?

13. САНДЫҚ ТОБЖ-Ң СЫЗЫҚТЫҚ КОДТАРЫ

Сандық жіберу жүйелерінде сызықтық кодтар есептер қатарын шығару үшін қолданылады:

1. Тұрақты тактілі синхронизацияны ұстап тұру үшін бірлік және нөлдік жіберілімдерді беру ауысымының бастапқы сигналында ондай алмасу болмаса да жиі болуы керек;

2. Код жабдықтың және желі ғимараттарының дұрыс жұмыс істеуін жою үшін емес, бақылау үшін қателіктерді табуды қамтамасыз етуі керек;

3. Сондай-ақ, кодтың энергетикалық спектрі мүмкіндігінше жіңішке болуы керек. Бұл шу деңгейімен (деңгейі жиілік сызығының ұлғаюымен байланысты өседі) және жабдықты іске асыру қиындығымен (біріншіден, күшейткіштердің) байланысты;

4. Кодтың құрамында тұрақты құраушы және нөлдік герцке жақын жиілік болмауы керек, өйткені ол күшейткіштерді қиындатады.

5. Кодер мен декодер іске асыруға жеңіл болуы керек.

Осы кездегі электрлік сызықтың кодтары квазитрондық кодты қолданатын қосполярлы аппаратураларды жіберу мүмкіндігіне негізделген. Бұл кодтар сызықтық кодтың алдына қойылатын барлық есептерді шығарады. Өкінішке орай, оптикалық сигналдар өзінің электрлік эквивалентінде бірполярлы (жарық бар, жарық жоқ), оптикалық кодтарды және олардың ұсыну талаптарына байланысты түрлерін іске асыруға басқаша қарау туындайды.

ТОЖЖ аппаратурасында қолданылатын бастапқы коды NRZ (non return to zero - нөлге қайтып оралмау) коды болып табылады. Бұл кодта бірлік импульс оның жіберуіне берілген уақыт интервалын қамтиды.

Импульстер арасындағы қорғаушы интервалының болмауы аппаратурадағы маңызды емес амплитудалық – жиіліктік бұрмаланулар үшін қажет емес.

Барлық оптикалық кодтар блок болып келеді, өйткені ондағы NRZ код жіберушісі «m» сызықта «n» жіберушіге беріледі, сондай–ақ

кодта әрқашан артық орын алады, яғни n>m. Сондай кодтарды «mbnb» деп белгілейді, мұндағы «B» – бастапқы коды және сызыққа екілік жіберетін кодты білдіреді. Кодтағы артықшылық кодқа қойылған талаптарды орындауға мүмкіндік береді. Сызықтық кодтың жіберілу блогі станциондық кодтың шығу блогі уақытымен бірге болу керек болғандықтан, жіберілу жылдамдығы B сызығына:

$$B \Rightarrow fл = n / m(fr), \qquad (13.1)$$

мұндағы *fл* – сызықтық код импульсінің жүру жиілігі,

fr – бастапқы код импульсінің жүру жиілігі.

Сонымен қатар, жылдамдықтың өсуіне қарай кодтағы артықшылық төмендеуі керектігін білуіміз қажет (n/m>1), өйткені аппаратурадағы іске асыру қиындығы және желідегі дисперсия жіберу жылдамдығының ұлғаюымен өседі.

1B2B коды. Бұл көп түрі бар кодтар өздерінің маңызды артықшылықтарымен ерекшеленеді, өйткені желіге беру жылдамдығы шығу кодымен салыстырғанда 2 есе өседі. Бұл кодтардың ерекшелігін BI-L коды (абсолютті биимпульсті код) мысалында қарастырайық. Бұл кодты 2 модуль бойынша NRZ кодын тактілік жиілік импульсінің қосындысымен іске асыруға болады. Бұл 13.1 – суретте келтірілген.



13.1 – сурет. NRZ кодының BI-L кодына түрленуі

BI-L коды аналогті сумматорды қолдану арқасында қателіктерді оңай табуға мүмкіндік береді. Онда қосу кезіндегі бірлік сигналдар «+1» ретінде, ал нөлдегі сигналдар «-1» ретінде есептеледі. Осылайша қателіксіз қабылдаудағы нәтиже ± 1 шегінен шықпайды. Осы 13.1 – суретте келтірілген мысал үшін мәндердің қосындысы BI-L коды ретінде көрсетілген.

2B4B коды. Бұл кодтың алдыңғы 1B2B коды сияқты артықшылығы бар. Бұл кодты құру келесі алгоритм бойынша орындалады (13.1 – кесте).

13.1 – кесте

2B4B кодының құрылуы

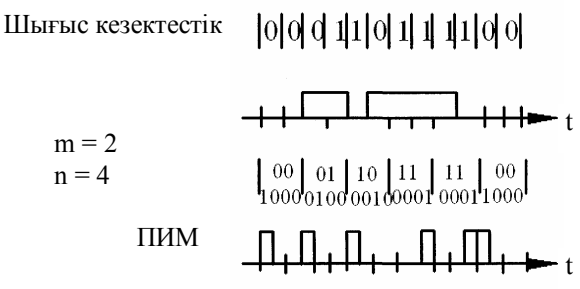
Бастапқы коды	Сызықтық код
00	1000
01	0100
10	0010
11	0001

Көрсетілген ерекшелігіне байланысты бұл код позиционды модуляция (ПИМ) атын алды. ПИМ кодын іске асыру 13.2 - суретте көрсетілген.

ПИМ кодының 1B2B кодымен салыстырғанда артықшылығы оның жіберу импульсінің бірлік саны 2 есе аздығында, сондықтан желідегі орта қуаты төмендейді. Осыдан сәулелену көздерінің беріктігі және қолданатын қуаттың төмендеуі пайда болады. Төрт жіберілетіннің бір бірлігінің болуы арқасында тұрақты синхронизация және қателіктер табу мүмкіндігі қамтамасыз етіледі.

1B2B, 2B4B кодтарының бастапқы жылдамдығы 100 мБит/с аспайтын жүйелерде қолданылады.

3B4B, 5B6B кодтары. Бұл кодтарды іске асыру идеясы бір қосымша артықшылық разрядын кіргізудің бастапқы комбинацияларын нөлдер мен бірліктер қосындысы синхронизациялауға ыңғайлы кезде, кіші разрядтарды үлкен разрядтарға ауыстырғанда мүмкіндік беруіне негізделген.



13.2 – сурет. ПИМ сигналдарының іске асырылуы

Бұндай іске асыруды 5B6B коды мысалында қарастырайық. Бастапқы блоктары 5 разрядты құрайды. 5 разрядта мүмкін болатын комбинациялар 2^5=32. Комбинациялар ішінде нөлдер мен бірліктер превалирленеді , бұл синхронизациялау үшін онша қолайлы емес (айталық 00000,00001,11111, т.б.).

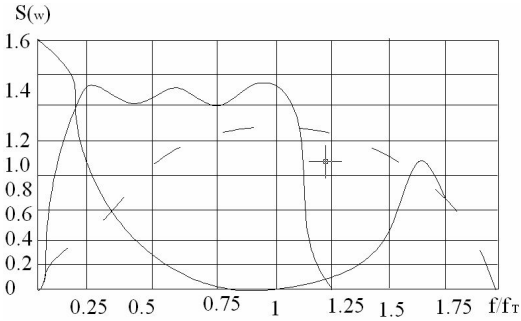
Егер оларды 6 разрядтылар блоктарымен ауыстырсақ, онда мүмкін болатын комбинациялар мәні 2^6=64 болады және олардан ондағы бірліктері мен нөлдері синхронизациялауға қолайлы деген 32 комбинацияны таңдап алуға болады. 13.1–кестеден көрініп тұрғанындай разрядта нөлдері мен бірліктері тең 20 комбинация бар. Қалған 12 комбинация екі бірлік және төрт нөлдері бар немесе төрт бірлік пен екі нөлі бар блоктардан құрылуы мүмкін. Бұл екі бірлік және төрт нөлдері бар болоктың мәні төрт бірлік пен екі нөлі бар блоктың мәнімен алмасып тұруы жіберу бірліктерінің тұрақты тығыздығын қамтамасыз етіп тұрады. 2B4B, 1B2B кодтарымен салыстырғанда 5B6B коды энергетикалық жіңішкерек, ал бұл осы кодтың артықшылығы болып табылады. Қателіктерді бұл кодта 5B6B кодына жатпайтын 6 разрядты блоктің комбинацияларынан табуына байланысты.

13.2 – кесте

5B6B класының коды

Бастапқы блоктар	5B6B коды	Бастапқы блоктар	5B6B коды
00000	101011	10000	100011
00001	100010	10001	110101
00010	101010	10010	000101
00011	101001	10011	111001
	111000(+)	10100	001001
00100	101000	10101	001101
00101		10110	110011
00110	110010	10111	010001
00111	111010	11000	010101
01000	001010	11001	110001
01001	001011	11010	011101
01010	011010	11011	011000
01011	100110	111000	100111
01100	101110	11101	100001
	100100		100101
01101	101100		011001
01110	110100	11110	101101
01111	110110	11111	001100
	000110		010011
			010111
	001110		000111(-)
	010110		
	011110		011011
	010100		010010
			011100

10B12K, 40B48R кодтары. Бұл кодты қосымша артықшылық разрядтарды синхронизациялауды және қателіктерді табу үшін қолданады (13.4 – сурет).



13.3 – сурет. ТОБЖ сызықтық кодтарының энергетикалық спектрі

Қателіктерді табу P разрядының көмегімен жүргізіледі. Бұл бақылау символы бастапқы блогтің шындығын тексеруге арналған. Егер NRZ кодының бастапқы блогінің қосындысы жұп санды берсе, онда P разрядына 0 беріледі, керісінше жағдайда 1 беріледі. Сол арқылы жіберу кезінде қателіктерді табуға мүмкіндік беріледі. Қосымша R символы бір түрде синхронизациялау үшін және берілген блоктің шегін анықтау үшін қолданылады. 10B12B коды кейде 10B1R1P дегенді білдіреді.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

а)

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

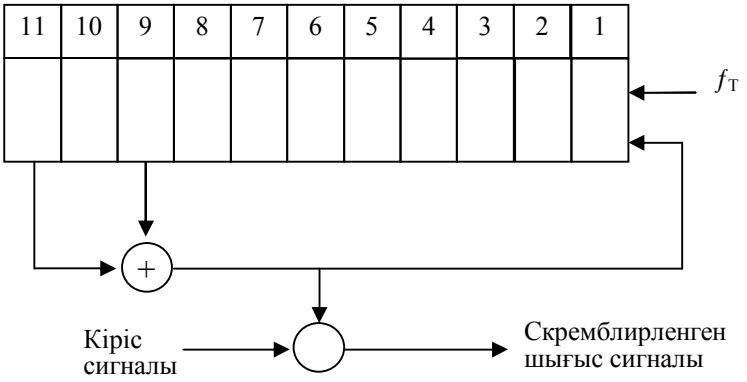
ә)

13.4 – сурет. 10B1R1P типті сызықтық кодының құралу схемасы:
а) - бастапқы код NRZ;
ә) - 10B1R1P сызықтық коды

Скремблирлеу – бұл артықшылықты арттыруды қажет етпейтін жаңа кодты құруға берілетін мүмкіндік. Бұндай кодтау өзінің экономдылығына байланысты көптеген жоғары жылдамдықты жүйелерде, соның ішінде STM

– N жүйесінде қолданылады. Скремблирлеу кезінде бастапқы код жіберу тығыздығы 0 мен 1-ге тең болатындай кезіндегі кодқа ауысады. Бұл қабылдауда тұрақты синхронизациялауды қамтамасыз етеді. Ал қателіктерді табуға скремблирленбейтін циклдердің басы (фреймдер) қолданылады. Осы скремблирленген құрылғының жұмыс істеу негізіне жылжымалы регистрді, нөлдер мен бірліктері квази кездейсоқ ретті генератор ретінде қолдану жатады (13.5 - сурет).

Квази кездейсоқ ретті алу үшін «2» модуль бойынша жылжымалы регистрдің бөлек ұяшықтарын қосу қолданылады. Осындай жылжымалы регистрдің әрбір цикліне бастапқы енгізілген кез келген ретінен (нөлдіктен басқа) тактан тактқа ауысатын нөлдер мен бірліктер ретін құруға болады. Бұндай бастапқы сигналы бар ретті қосу желіге скремблирлі сигнал беруге және сондай скремблирлеу құрылғысын оның жылжымалы регистріне бастапқы кіргізу реті бар сол уақыт моментін қолдану арқылы қабылдауда бастапқы сигналын қалпына келтіруге мүмкіндік береді. Скремблирлеудің қосымша артықшылығына ақпараттың құпиялылығын қамтамасыз етуді жатқызуға болады.



13.5 – сурет. Скремблирдің функциямен жұмысы

Бақылау сұрақтары:

1) Оптикалық сызықтық кодтардың электрліктен принципиалды айырмашылығы неде?
2) 1B2B коды дегеніміз не?
3) 2B4B кодын не үшін қолданамыз?
4) 5B6B кодын іске асырудағы идеяларды айтыңыз.
5) 10B12B кодының артықшылығы неде?
6) Скремблирлеудің қолданылуы мен артықшылығы неде?

14. РЕГЕНЕРАТОРДЫҢ БӨГЕТКЕ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫ

Оптикалық сәулелену қабылдағышының маңызды параметрінің бірі берілген сигнал-шуыл қатынасы (егер қателік мүмкіндігі берілсе) бар оптикалық сигнал қуатының минимальды табылуы болып табылады. Бұл мән минимальды детектрленуші қуат (МДҚ) деген атқа ие болады. Қате мүмкіндігінің көлемі магистральды тордың сызықтық тактісінің 1 км ұзындығына $p' \le 10^{-11}$, аймақтық торға $p' \le 1{,}67 \cdot 10^{-10}$, жергілікті торға $p' \le 10^{-9}$. Осы мәндерге орай регенерацияланған аумақтың алынған ұзындығының қателігін анықтауға болады.

$$P_{кат} = l_{а.р.}$$

Мұндағы $l_{а.р}$ – регенерацияланған аумақтың (сегменттің) ұзындығы.

Бірақ, схемалық есептеулерге бөгетке тұрақтылық және A_3 бөгетке тұрақтылық пен қателіктерді байланыстыратын нақты мәндерді қолдану оңай болады.

Егер $A_3 \ge 15$дБ болса, онда қателік мүмкіндігін мына формуламен табуға болады:

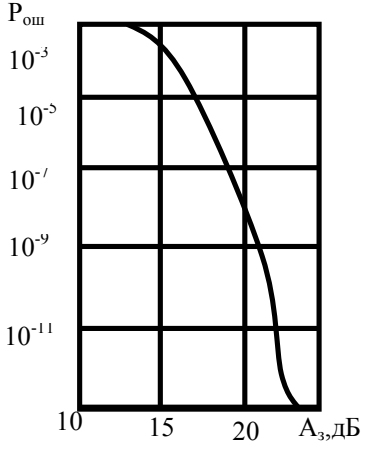
$$\log(1/p_{кат}) = 0{,}55 + \lg z + 0{,}43z^2 \qquad (14.1)$$

мұндағы

$$z = \frac{1}{2\sqrt{2}} \cdot 10^{0.05 \cdot A_3} \qquad (14.2)$$

Бұл қажеттілік мына график бойынша көрсетіледі (14.1 – сурет).

(14.2) қатынас регенератор кірісі тізбегі бойынша сигнал – шуыл байланысын табуға мүмкіндік береді, яғни қабылдайтын оптикалық модульдің кіріс тізбегі бойынша.



14.1 – сурет. Сандық регенератордағы регенерация құрылғысы кірісіндегі $P_{ош}$ қателік ықтималдығының A_3 қорғанысқа тәуелділігі

Сигнал–шуыл байланысын есептеу үшін бастапқы схемадан (14.2 а – сурет) келесі белгіленулері бар эквиваленттік схемаға өтейік:

P – фотодиодқа түсетін жарық сигналының қуаты;

J_C – фотодиод кірісіндегі пайдалы сигналдың фототогі;

$R_Ф$ – фотодиодтың динамикалық кедергісі;

$C_Ф$ – фотодиодтың p – n өткелінің сыйымдылығы;

$J_б$ – фотодиодтың бөлшекті шуының тогі;

$J_т$– фотодиодтың R тізбегі жүктемесінің жылулық шуылының тогі;

$C_{кір}$– күшейткіштің кіріс сыйымдылығы;

$C_м$ – кіріс тізбегі монтажының сыйымдылығы.

Жүктеменің кедергісін және кіріс тізбегі қосалқы сыйымдылығын ескере отырып:

$$C = C_{кір} + C_м + C_ф \qquad (14.3)$$

Осы тізбектің тұрақты уақытын анықтайды :

$$\tau = 2\pi \cdot R \cdot C \qquad (14.4)$$

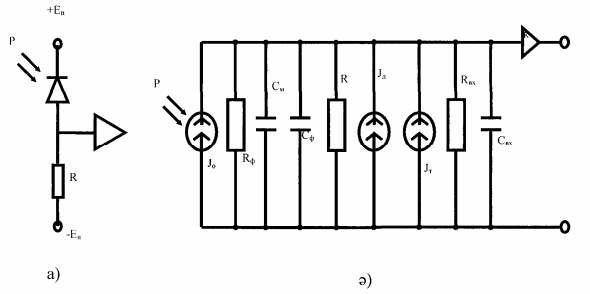
сонымен қатар жіберу жылдамдығын:

$$B = \frac{1}{\tau} = (2\pi RC) \qquad (14.3)$$

Жіберудің өте жоғарғы жылдамдығына жету үшін

$$R \ll R_ф \approx R_{кір} \qquad (14.4)$$

соңғы шартты оңай орындауға болады. Бұл фотодиодты қайтадан қосумен және жоғарғы омды кірісі бар күшейткішті қосумен байланысты.



14.2 – сурет.

а) ПРОМ кіріс тізбегінің схемасы;

ә) Сигнал-шу қатынасын есептейтін осы тізбектің эквиваленті схемасы

Осы айтқанды ескерсек, кіріс тізбегіне арналған бөгетке тұрақтылық мына формуламен анықталады:

$$A_3 = 10 \cdot \lg \frac{\widetilde{i}_c^{\,2}}{\widetilde{i}_T^{\,2} + \widetilde{i}_Д^{\,2} + \widetilde{i}_{с.ш}^{\,2}} \qquad (14.5)$$

мұндағы $\widetilde{i}_c, \widetilde{i}_T, \widetilde{i}_Д, \widetilde{i}_{сш}$ – пайдалы сигналдың, жүктеме кедергісінің жылулық шуылының, фотодиодтың бөлшектік шуылының, күшейткіштің өз шуылы тактілерінің орта квадратты құрушылары.

Күшейткіш шуылы коэффициентінің Fm>1 резисторының жылулық шуылының формуласына енгізе отырып, күшейткіштің қосымша шуылын ескерейік.

$$J_{T\Sigma} = \sqrt{4 \cdot k \cdot T \cdot B \cdot F / R} \qquad (14.6)$$

Қосалқы шуылы бар резистор мен $J_{T\Sigma}$ фотодиодының бөлшектік шуылы бар күшейткішті орналастырайық.

$$J_Д = \sqrt{2 \cdot q \cdot J_\Omega \cdot B} \qquad (14.7)$$

Мұндағы, J_Ω фотодиод тогінің тұрақты құраушы $J_{T\Sigma}$ қосалқы шуыл Jд бөлшектік шуылды басады деп айталық және мына шарттың орындалуын көрейік:

$$4 \cdot k \cdot T \cdot B \cdot Fm/R \geq 2 \cdot q \cdot J_\Omega \cdot B \qquad (14.8)$$

Соңғы шартты мына өрнекке келтіреміз $T \sim 300^0 K$ ($\frac{kT}{q} \sim 0.05$В):

$$\frac{0.05 \cdot Fm}{J_\Omega} \leq R \cdot \qquad (14.9)$$

Фотодиодты қаралау токқа тұрақты құраушылары үшін $J_\Omega \sim 10^{-7}$—10^{-9} А, Fm~5 мынаған алып келеді: R~1—100мОм. Шынында да R«1—100мОм оптикалық жүйесінің тез әрекеттілігін қамтамасыз ету үшін 10^6—10^{10}Бит/с (14.6 формуласына қарайық). Осылайша бөгетке тұрақтылық формуласына келеміз:

$$A_3 = 10 \lg \frac{S^2 \cdot P^2}{4 \cdot k \cdot T \cdot B \cdot F_m / R} \qquad (14.10)$$

$$\widetilde{i}_c = S \cdot P \qquad (14.11)$$

$$S = \eta \cdot \lambda \cdot q / h \qquad (14.12)$$

Мұндағы,

S – фотодиод сезгіштігі;

q – электрон заряды;

λ – сәулелену толқынының ұзындығы;

η – фотодиодтың кванттық эффектілігі;

h – Планк тұрақтысы

А3 (11.13) формуласындағы нәтижелер фотодиод кірісіндегі МДМ шартын іске асыруды қанағаттандыратын сәулелену қуатын анықтауға мүмкіндік береді.

Бақылау сұрақтары:

1) Минимальды детектрленген қуат дегеніміз не?

2) Регенератордың бөгетке тұрақтылығын қандай шуылдармен және неге анықтайды?

3) Бөгетке тұрақтылыққа кіріс тізбегінің қандай элементтері әсер етеді?

15. САНДЫҚ ТАЛШЫҚТЫ – ОПТИКАЛЫҚ БЕРУ ЖҮЙЕЛЕРІ

Оптикалық жүйелерді кіргізу және дамыту SDH – синхронды сандық иерархияның пайда болуына әсер етті. Бірақ, осы жүйелермен қатар ТОЖЖ-де PDH—плезиохронды сандық иерархия қолданылады.

PDH жүйелері SDH-жүйелеріне қарағанда төменгі жіберу жылдамдығымен ерекшеленеді. Олар жіберу сызығы шектеулі электрлік кабельдер жолдары негізгі жіберуші болған кезде пайда бола бастаған. Еуропалық стандартқа сай PDH-тың негізгі жіберу жылдамдықтары 2МБит/с, 8МБит/с, 34МБит/с, 140МБит/с сәйкес келеді. Бұл жүйелер қазіргі уақытта телефонды және пакетті байланыс мекемелерінде қолданылады және жіберілу ағындары сәйкесінше Е1, Е2, Е3, Е4 болып белгіленеді.

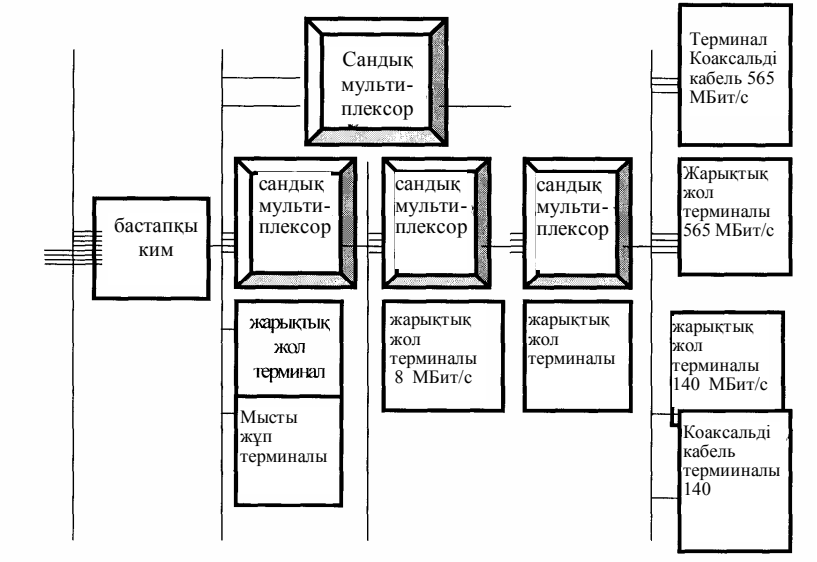
Оларды іске асыру негізіне уақытша мультиплексорлау принципі жатады. Барлық берілген жылдамдықтарға арналған және американдық, жапондық стандартқа сай 1,5МБит/с, 45МБит/с жіберу жылдамдығы бар мультиплексорлар шығарылып жатыр. Олардың ТОЖЖ-да қолданылуы үшін жіберу жылдамдығына сәйкес оптикалық терминалдар шығарылуда (15.1 – сурет).

PDH жүйесін жаңа элементтік базаға орай құруды виртуальды контейнерлерді (VC), жүктемелік модульдерді (TU) және административті модульдерді (AU) қолдана отырып басқаша жолмен іске асыруға болады (15.2-сурет).

15.2 – суретте келтірілген шешім өте жеңіл басқаруға және PDH жүйесінде бақылауға мүмкіндік береді. VC, TU және TUG ерекшеліктері мен берілгендеріне төменде қысқаша түсінік берілген.

SDH жүйелері. Оптикалық жүйелерде саналатын бірліктер мен оншақты Тбит/с үлкен ақпарат ағындарын жіберу мүмкіндігі SDH иерархиясы STM (синхронды транспортты модуль) модулін: STM-

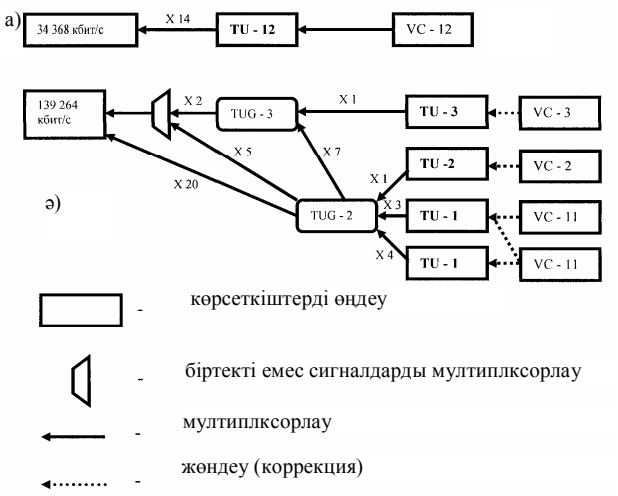
1 155МБит/с жылдамдығымен STM-4 (622 МБит/с), STM-16 (2,5ГБит/с) қосады. Бұл жүйелер түрлі стандартты (Еуропалық, Американдық және Жапондық) PDH иерархиясының ағындарын қосуға мүмкіндік берді. Олар аралық пункттегі төменгі жылдамдықты ағындарды енгізу/шығару мақсатымен PDH жоғарғы жылдамдықты толық түрлендіру қажеттілігін алып тастады.



15.1 – сурет. PDH оптикалық иерархиясының құрылуы

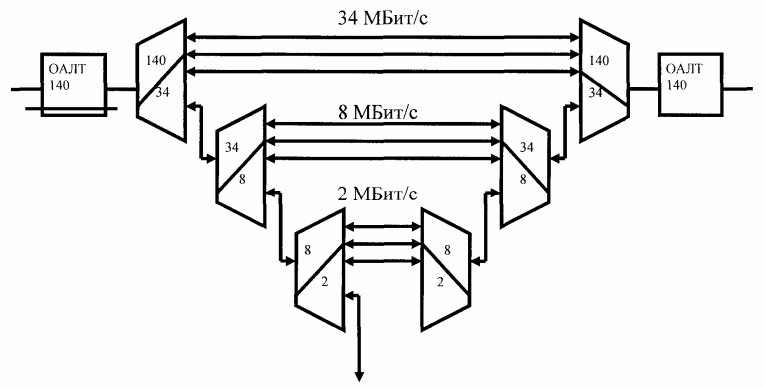
Қосымша уақыт интервалдарының бөлінуі SDH жүйелерінде басқару және бақылау мәселелерін шешуге мүмкіндік берді.

Синхронды транспортты модульдер (STM). Сызықты сигналдарды ұйымдастыру негізіне «контейнерлер» және оларды орналастыру принципі жатады. Бұл PDH сигналдарын, пакетті хабарламалар мен т.б. түрлі ақпараттарды STM-ға жіберуге мүмкіндік береді. Контейнерлер – бұл STM сигналының элементтері, олар SDH мультиплексорының кірісіне берілетін байттар топтарын құрайды. STM-N мультиплексорлауының Еуропалық стандартқа сай схемасы 15.4 – суретте көрсетілген.

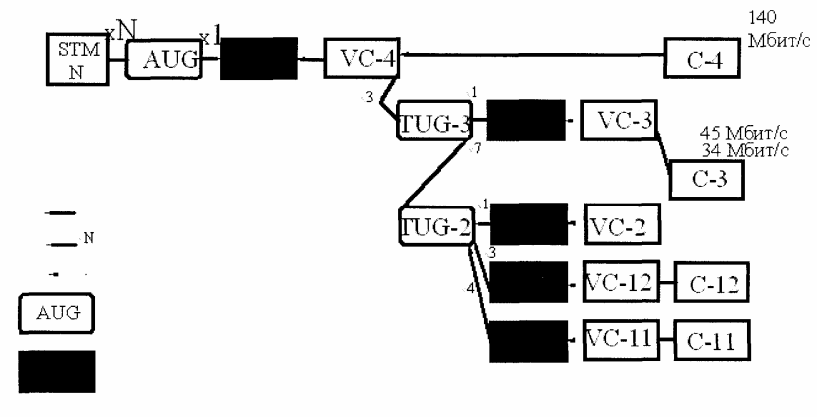


15.2 - сурет. PDH иерархиясының Е3(а) және Е4(б) ағындарын жасау кезіндегі SDH элементтерін қолдану

Бұл құрылымдық схема STM сигналының түрлі бастапқы контейнерлерінің қалыптасуына пайдаланылуы мүмкін. Бастапқы контейнер үшін Е1 сигналы тізбегінің түрленуін қарастырайық (15.3 – сурет).



15.3 – сурет. Еуропалық ПЦИ сандық ағындарын байланыстыру схемасы



15.4 – сурет. СЦИ түрленуінің еуропалық схемасы

Бұндай контейнер С-12 деп белгіленеді. С-12 және С-2 (жіберілу жылдамдыға 2МБит/с және 6МБит/с) контейнерлері төменгі реттік болып табылады. Олардың жіберілуі үшін, олар фиксирленген, басқарылатын, қаптамаланған биттер қосылуымен бастапқы ағындардан құралады.

TU-12 үш бірдей топты уақыт бойынша мультиплекстеуді, TUG-2 жүктемелік модуль топтарды алуды қамтамасыз етеді. Қайтадан мультиплекстеудің арқасында TUG-2-нің 7 тобынан TUG-3 жүктемелік модульдер топтары құрылады. Одан кейін осы тізбекке бағытты тақырып қосылады, бұл VC-4 контейнерінің құрылуына алып келеді. STM-1 транспортты модуліне өту уақыт бойынша көрсеткішін қосу арқасында болады, бұл AU-4 административті модульдің құрылуына алып келеді.

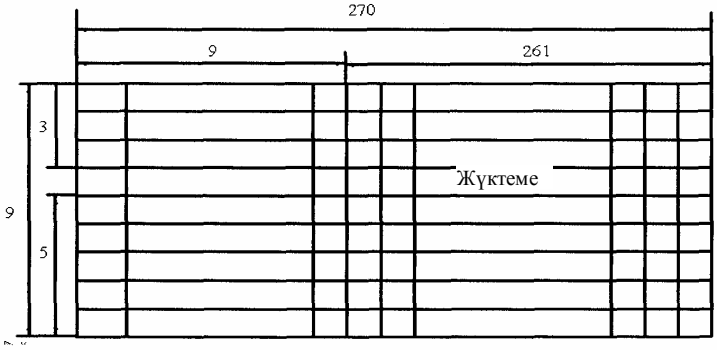
STM-1 циклінің жүйесі.

STM-1 циклінің (фреймнің) толық форматы 15.6–суретте көрсетілген. Циклді жіберу реті – әрбір ұяшық (солдан оңға, үстіден астыға) бір байтқа тең. Біріншіден 9*9=81 байтқа тең бастапқысы беріледі. Бүкіл цикл 125 мкс-та беріледі, сәйкесінше циклдің жіберу жылдамдығы:

$$9x270x(8бит/125x10^{-6}с)=155520000бит/с=155.52МБит/с$$



15.5 – сурет. 2,048МБит/с ағыны түрленуінің тізбегі



15.6 – сурет. STM-1 циклінің форматы

Бастапқыдан басқа циклдің бірінші бағаны С-4 контейнерінің басында VC-4 виртуальді контейнерінен тұратын жүктеме бар. С-4 контейнерінің өзінде 140МБит/с жіберу жылдамдығы бар PDH E4 сигналы орналасқан.

15.1 Оптикалық желі

Желілер және олардың қолданылуы

Желілік байланыстың дамуы көліктік желі, бірлік және екілік желінің пайда болуына әсер етті. Біз білетіндей, типтік жіберу каналы және топтық тракті құрайтын станция мен жіберу жолы желілік түйінмен бірігіп бірлік желіні құрайды. Қазіргі заманғы сандық иерархиялық синхронды жүйенің дамуы бақылау функциясындағы бірлік желі, оперативтік қосу, резервтік, қатты тактілі синхронизацияның өсуіне әсер етті.

Екілік желі коммуникациялық станция, коммуникациялық түйіні, абоненттік құрылғылар мен екілік желінің каналы (телефондық, телеграфтық, мағлұматты жіберу, т.б.) бірлік базасында құрылады.

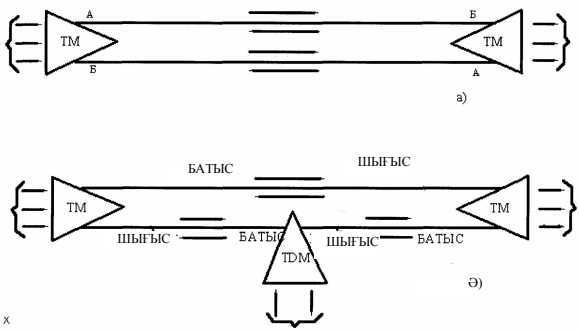
«Көліктік желі» мағынасы: ақпараттың таралуын (бақылау, басқару, резервтік, оперативтік қосу) және басқа да құрылымды өзіне қосады.

SDH қасиеті (олардың жоғары сенімділігі және көп пайдалылымдығы, бақылаудың жасалған құрылғысы мен басқарылуы, өте жоғары ақпараттық сыйымдылығы) желілік ұйымдастырылусыз орындалмайды. Бақылау және басқару құрылымдары бойынша SDH желісін тәуелсіз функциялы қабатқа бөлу мақсатында қызмет етеді. Бұл сұрақ ары қарай қарастырылады.

15.2 Оптикалық желінің архитектурасы. Негізгі құрылымдар

SDH желісін құруға арналған бірнеше құрылымдар бар. Бұл құрылымдардың негізгі белгісі онда желінің жауап қайтармау мүмкіндігінің бар болуы.Үш негізгі өтуді көрсетуге болады: 1+1 схемасындағы тасқындау трассасы бойынша резервтеу, оперативтік қосу аппаратурасы бойынша сақиналы желі құру және ұяшықтың құрылымын құру.

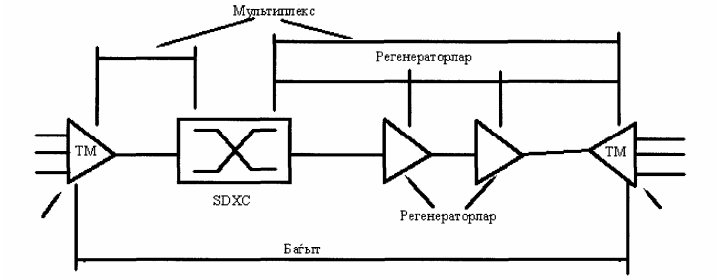
Көрсетілген әрбір әдіске тоқтайық. 1+1 схемасындағы «нүкте-нүкте» қосуы тасқындау трассасының территориясында , бір –бірімен екі кабель арқылы жалғанған, екі терминалды мультиплексордың қосылу жолы арқылы орындалады, онда сол бір сигнал жүреді. Бұл мысалы, бір кабельде екі жіпке оптикалық талшықты жібергенде базалық топологияда қолданылуы мүмкін. Егер беру бағытының іштен шығуы болса, автоматика байланысты резервтік бағытқа жібереді. Бұл топология трассада канал бөліктерінің тармақталуы керек болғанда қолданылуы мүмкін, осы кезде тізбекте 100 % -ті резервті сақтау үшін кіріс/шығыс мультиплексоры құрылады (15.7.б).



15.7 – сурет. Кіріс-шығыс мультиплексоры
а)1+1 схемасы бойынша «нүкте-нүкте » топологиясы
ә)1+1 «қорғалуымен » кезекті сызықтық тізбек

Берілген топология магистральды желі жүйесін сипаттайды, бір жағдайда схема басқа схемаға тасымалданады, терминалды мультиплексордан басқа регенератор мен коммутатор (SDXC) араласады (15.7 – сурет).

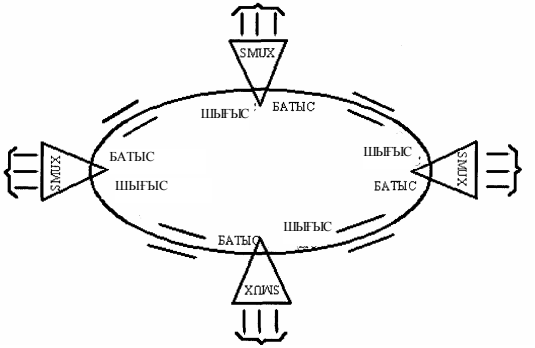
Ең көп таралған құрылымдардың бірі қалаларда, аумақтарда және магистральды желі жүйесінде қолданылады, ол сақиналы құрылым болып табылады. Бұл жерде негізгі нұсқалардың бірі бір бағытты және екі бағытты сақина. 2 талшықтағы, алайда 44 талшықты екі бағытты сақина көп қолданылады. Сақиналы құрылымды қолдану оған кіріс-шығыс мультиплексорын қосумен байланысты мұндай құрылымдар тоқырау тұрақтылығын сақтайды.



15.8 – сурет. SDH желісі үлкен тарта жонғыш «нүкте-нүкте » байланыс типімен және оның сегментациясымен

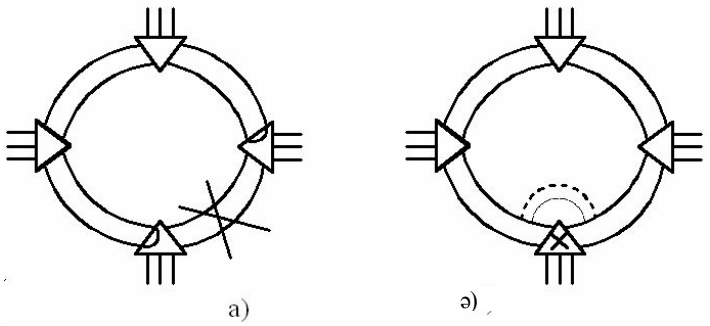
Бір бағытты сақина идеясы мынада: сақинада әрбір кіріс ағын екі бағытқа барады, ал қолдану үшін 2 ағынның бірі қолданылады. Егер

орындалып жатқан ағында тоқырау болса, екінші талшыққа қосу процесі жүреді (15.9 – сурет). Екі бағытты сақинада бір ағыммен екі бағытта да жіберіле береді (мультиплексордың бұзылуы немесе учаскінің жауап қайтармауында) бұл нұсқа қорғаушыны қарастырады , ағынды кері жүргізу жолымен немесе өтіп кету жолын құру арқылы.



15.9 – сурет. 1+1 қорғаушымен «сақина » топологиясы

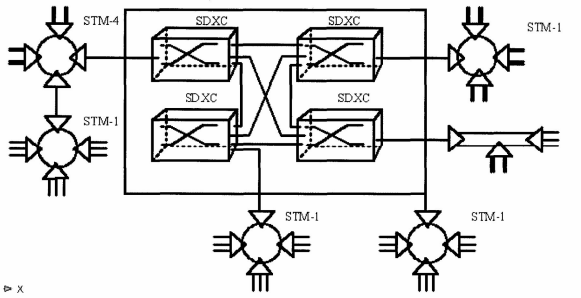
4 талшықты екі бағытты сақина екі бағытты сақинаның екі талшығы сияқты қамтамасыз етеді, егер тоқырау болса бір жұпты екі талшықпен ауыстыруға болады әдетте бұл нұсқа қымбатқа түседі.



15.10 – сурет. Екі сақиналы әдістің қорғалуы
а) бұзылған учаскісін алып тастау
ә)айналып өту процесін қарастыру

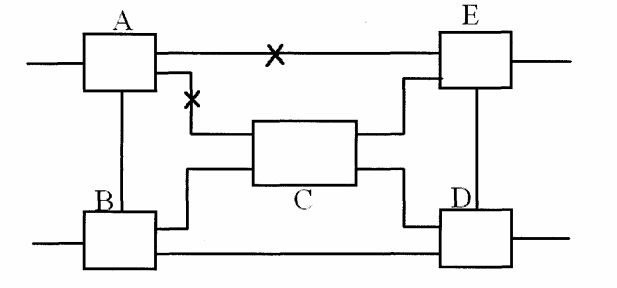
Желі жасанды құрылымымен оперативтік қосу аппаратурасында қолданылуы мүмкін (АОП). АОП өзінде бір желіде оператор командасында, желіні басқару құрылымын қолдану арқылы байланыс

құру мүмкіндігін береді. 15.11–суретте сыртқы сақинамен қосылған АОП-ның ұяшықтық құрылымы көрсетілген. АОП-ның құрылымы үзік сызықпен көрсетілген SDH ағымының SDXC жүйе кросс-коммутациясы.



15.11–сурет. SDH желісінің каскадты-сақиналы тармақталуы және ұяшықты құрылымы

Желі конфигурациясының өзгеруі ұяшықты құрылым тізбегінің тоқырауымен байланысты. (15.11-сурет). Желінің реконфигурациялы процедурасы орталықтандырылған және орталықтандырылмаған болып бөлінеді. Бірінші жағдайда конфигурацияның өзгеруі туралы шешім желі басқару орталығынан ериферияға дейінгі бұрмалануға келеді. Реконфигурацияның бөлінген процедурасы АОП түйінімен тар уақытта дұрыс шешім табуымен байқалады.



15.12 – сурет. АОП негізінде желінің апатты режимі

(АЕ және АС арасындағы бұзылған тізбегі әртүрлі пункт арасындағы байланысты орналастыруға арналған резервті қосылым). АОП-ның өзі, сызықтық тоқырау кезінде егер тізбекке жүктелу болса, тізбектің кейбір

бұзылған ағымын беруі мүмкін, яғни 4/4, 4/3, 4/3/1 ағымының транформациясын орындайды. Бұл АОП (коммутаторларды) қолдану, 140 және 155 МБит/с ағымын қабылдауға және өңдеуге беруге болатынын көрсетеді, 34 МБит/с, 2 МБит/с еуропалық стандарттарда қолданылады.

Желінің қиыстыру құрылымы.

Желінің базалық топологиясы, шын мәнінде көбіне көптүрлі комбинацияларда қолданылады.

Мысалы, үлкен қалаларда желі бір-бірімен байланысқан, STM-16 немесе STM-4 деңгейі бойынша негізгі сақинада көрсетілуі мүмкін, оған STM-1 сақинасымен қосылған. Сақиналар арасындағы байланысты мультиплексор арқылы орындайды. Бұл жерде екі біріккен сақинаны қосқанда олардың қосылуын екі біріккен түйін арқылы орындаған дұрыс болады, егер сақина бір түйінмен қосылса, онда тоқырау сақиналар арасын (байланысын) үзеді.

Сақиналарды түйіндестіру кезінде сақина аралық байланыста мультиплексорлы кіріс/шығыс қана емес, АОП да қолданылуы мүмкін.

15.3 Оптикалық желідегі спектрлік тығыздау

Талшықты-оптикалық жүйеде қолданылатын синхронды иерархиялы жүйені құру кабельді электрлі жүйеге қарағанда кең ақпарат таратуға үлкен жүріс жасалды деп санауға болады. STM-1ден (155 МБит/с беру жылдамдығы) STM-64-ке дейін бұл соңғы он жылдағы ақпараттың кең көлемде өсуі. 40ГБит/с беру жылдамдығы STT-26-ға өту жүйе компоненті және талшық дисперсиясы бойынша қиындыққа соғылып тұр. INTERNET жүйесінің тез енуі жүйенің жіберу қасиетін үлкейтуді талап етеді. Беру сызығын кеңейту үшін жаңа оптикалық төсеніштің пайда болуы көп шығындармен байланысты. Әдетте оптикалық талшықтың нақты өту бағасы көп қолданылмаған резервтердің бар екенін куәландырады.

Егер белгілі аралық қатынасқа келсек:

$$v = \frac{c}{\lambda}$$

мұнда v – беру жиілігі

c – жарық жылдамдығы

λ – толқын ұзындығы, потенциалды беру бағасында:

$$\left[\frac{dv}{d\lambda}\right] = \frac{c}{\lambda}$$

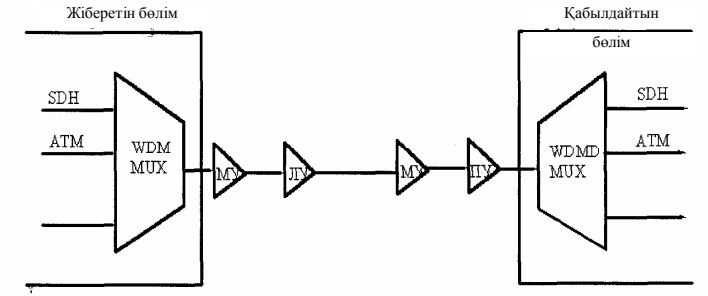
немесе $$\Delta\nu = c \bullet \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0^2} \qquad (14.2)$$

Түссіз терезеге 1,528-1,569 мкм күшейткіштің кванттылығын өткіземіз, ол λ_0=1,55 мкм орталық жиілігіне тең. Одан (15.2) жиілік сызығын $\Delta\nu$ =5*10^{12} Гц тең деп аламыз, ол беру ақпаратының көлемі бойынша STM-256 жүйесінен екі есе асып түседі.

Осындай үлкен ақпарат ағымын алу спектрлік тығыздау технологиясына байланысты (толқын ұзындығына байланысты мультиплекстеу). Батыс әдебиеттерінде WDM қолданылады, егер спектрлік тарату 10 және DWDM болса толық спектрлік нығыздау деп аталады, тарату саны 10-нан үлкен болады.

15.4 Спектрлік тығыздаудың принципі және блок схемасы

Тығыздау әдісінің негізінде мультиплексордың оптикалық принципі жиілік бөлігімен қойылған. Сонымен қатар тасымалдаушылар бөлек жартылай өткізгішті лазермен өзгереді. 15.13–суретте беру жүйесінің блок-схемасы көрсетілген. SDH және ATM мультиплексорының шығыс сигналы суретте көрсетілген, олар оптикалық тасымалдаудан оптикалық мультиплексорға өтеді, ол жерде бір жарық ағынына қосылу процесі жүреді.



15.13 – сурет. Қолданылатын WDM блок-схема жүйесі
(бір жақты жіберу көрсетілген)

Жоғалған сигналды компенсациялау үшін, әртүрлі МУ, ЛУ, ПУ күшейткіштерінің түрі қолданылады олар қуатты, сызықты және алдын ала күшейту. Сигналдың регенераторын қолдану бұл жерде бағыттылы емес, өйткені регенатор белгіленген әртүрлі сигналды және оның толық өңделуін қалайды, оптикалық сигналдың электрлік

сигналға өтуін қарастырады. Мұндай өңдеу спектрлік тығыздау жүйесінде, әсіресе, аяқталған байланыс пункттерінде орындалады. Бірақ мұндай шешім талшықтық дисперсиясына қатал талапты қабылдауға, амплитудалы және жиілікті квантты оптикалық күшейткіштің шу сипатына әсер етеді. Өте қатал талап әсіресе, DWDM байланысының тұрақтандырғыш лазеріне, мультиплексордың сипаттамасына және демультиплексорға да қойылады. Бұл спектрлік тығыздау жүйесі шығынының өсуіне әкеледі, бірақ бұл шығын канал санының өсуімен компенсацияланады.

Қазіргі кезде ең болмағанда, үш түссіз терезені көрсетуге болады, мұнда кабельдің өшуі үлкен емес және дисперсия минимумда болуы мүмкін:

а) 1350 –1450 НМ бәсеңдеуімен 1,35 –0,4 Дб/км

ә) 1530 –1565 НМ бәсеңдеуімен 0,2 –0,25 Дб/км

б) 1565 –1620 НМ бәсеңдеуімен -0,25–Дб/км

ГГц жиілігі	Толқын ұзындығы, нм
196,1	1528,77
196,0	1529,55
159,9	1530,33
191,1	1568,77
191,0	1569,59

Спектрлік тығыздықта толқын ұзындығының бөлінуі

15.5 Абоненттік өтудің оптикалық желісі

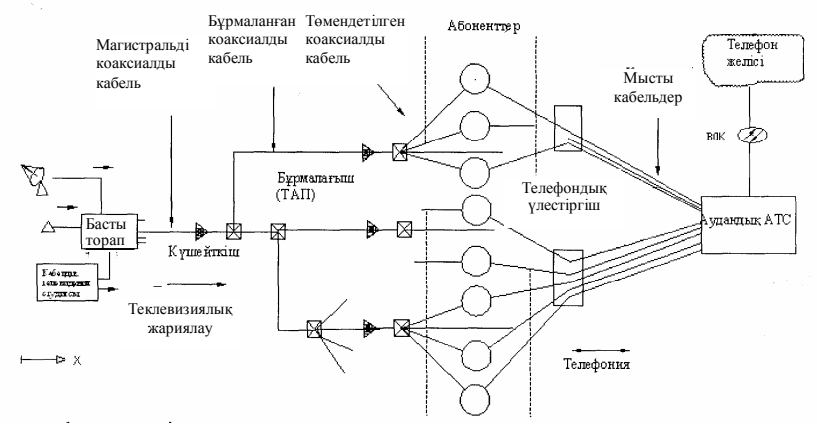
Абоненттік өту көбіне желі бөлімшелерінің телефонды станцияларынан абоненттік соңғы құрылғысына дейін, әдетте телекоммуникациялық желіні құру бір принциппен құрылған коммутация мен ақпаратты жіберу, кабельді теледидарды дамыту, интернеттің қазіргі өмірге өтуі абоненттердің станцияларға ақпаратты жіберу керектігі (видеотелефон, видеоаниторинг үйдің қауіпсіздігіне арналған, компьютерлі алмасу, т.б.) абонентік өтудің басқа стратегиясын көрсетті. Ол электрлік телефонды желіден оптика-коаксиалдыға, абонент пен арнайы жасалынған түйінге, желі көрсетіліміне өтті.

Көп шығындарға байланысты оптикалық жүйеге өтуі көбіне жаңа орналасқан аудандар үшін. Сонымен қатар квартираларға әртүрлі жарықты жіберу қиындықтары мен (қисық пайда болуымен микросынық пайда болу қаупі), абоненттік өту талшықты-коаксиалды желінің дамуы қазіргі кезде көп қолданылады. Бұл желі өте жақсы дамыған елдерде бар.

Талшықты-коаксиалды желі мен «талшықты квартираға» жеткізу желісі бұл жүйеде телефонды желі байланысының аналогті және жасанды орындалуына көмектеседі. Теледидар-эфирге шығу, кабельді, спутниктік, санды кабельді теледидар арнайы алгоритмдік сығысуы мен жіберу жылдамдығын кәдімгі көрсетім аналогті жүйеге дейін төмендетуге қызмет етеді. Бейнеканалдарды тапсыруды енгізуге болады және Internet желісіне қосылуға да көмектеседі.

Ақпаратты желі өтуінің мүмкін болар ұқсастығы.

15.14–суретте дәстүрлік абоненттік желі өтуінің ортақ құрылған құрылымы, әртүрлі формадағы телекөріністі жіберуге коаксиалды кабель қолданылады, осыған қарамастан қарапайым келтірілген сигнал АТС ауданынан көп жүзді жезді кабельден өтетініне қарамастан дәстүрлі телефонды желі сақталады.



15.14 – сурет. Дәстүрлі абонентті желі өтуінің архитектурасы

Магистральді коаксиалды кабельде қарапайым жиілік мультиплексор қолданылады, ал кең сызықты күшейткіш теледидарлық көріністі барлық абоненттеріне таратуға арналады. Бұл жерде жүйедегі абоненттердің байланысы негізгі түйінмен біржақты болады, сонымен бірге Internet–ті орындау және бейнетелефондық байланыс шегеріледі. Максимальды жою абоненттен басты түйінге (күшейткішті қолданумен) 10 – 15 км құрайды.

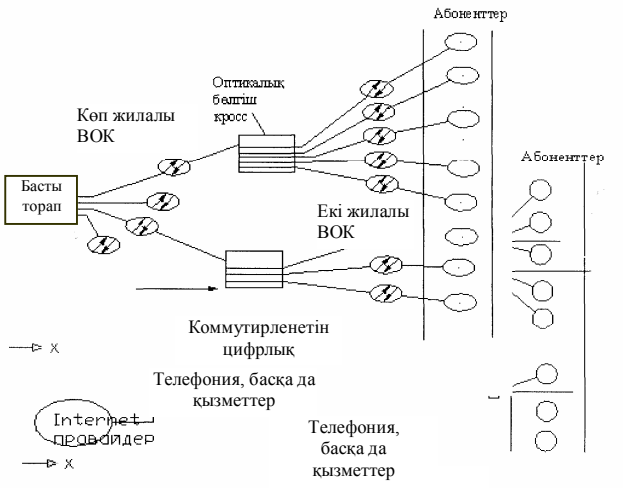
Желі архитектурасына қарағанда талшықты-коаксиалды желі өте жоғары техникалық көрсеткіші бар және желіден арзан болады, мұнда талшық үйге немесе квартираға жеткізіледі. 15.15–суретте осындай желінің түрі көрсетілген.

*0-үлгі,**-к–кадр ,*** кадр жылдамдығы 30,15,10 және 4,5к/с, пикс-пиксель, сызық-сызықтар, CIF (common intermediate format) ортақ

аралық формат, QCIF (quarter common intermediate format)-квартерлі ортақ аралық формат, MPEG (moving pictures expert group)-стандарт көлемі, JPEG (Joint photographic expert group)-видеокадрлы сығыстыру стандарты экспертер тобымен жасалынған.

Бұл желіде талшықты-оптикалық кабель АТС сигналдары секілді тасымалдауды орындайды. Сонымен қатар теледидарда хабар тарату түрлері, сандық теледидарды қоса Internet сигналы тасымалданады. Бұл желі екі жақты болып келеді, абонентті басты станцияға кез келген қызмет көрсетеді (телефон, видеотелефон, үй қауіпсіздігіне арналған бейне мониторинг, фильмдерге тапсырыс беру, электронды пошта, т.б.). Оптикалық-талшықты пайдаланумен байланысты күшейткішсіз жіберу ұзындығы 80 км жетеді. Оптикалық бөлгіш ODN түйінінің оптикалық сигналдан электрлік берудің коаксиалды кабеліне өтуін камтамасыз етеді, ол абонентке сигнал жіберуге арналған.

«Талшықты квартираға» жеткізу концепциясы қазіргі кезде ең маңызды болғанымен қымбат болып табылады. Бұл талшықтың күрделі төсенішіне байланысты абоненттің жіберу аппаратурасы мен оптикалық сигнал алуға байланысты. 15.15 – суретте мұндай схеманың архитектурасы көрсетілген.



15.15 – сурет. «Талшықты квартира» (FTTH) концепциясы

Бұл желінің маңызы болып ақпаратты жіберу кезінде шексіз іс-әрекеттілігі табылады. Спектрлік тығыздау мүмкіндігін ескеру керек. Әрбір «квартира» екі талшықты өзінің қарамағына алады: біреуі жіберуге, келесісі қабылдауға арналған.

Оптикалы-талшықты жүйесіндегі ағымды үйлестіру стандарты.

Оптикалы- коаксиалды жүйеде бұрыннан келе жатқан стандарттар екі ассиметрияны (сызық бойында немесе жіберу жолдарында) қарастырады.

Европалық стандарт бойынша жаңару сандық ағымға 5-65 МГц бекітілген, ал құлдырау ағымына 110-862. Әдетте, 550-ден 862Гц дейінгі сызық жиілігі (MPEG-2) MPEG3 форматтағы сандық кең таралған телеарна жіберуде және де видеотелефон мен тапсырылған видеоканалдарды жасауда қолданылады. Сандық және аналогтік әдістерінің ұқсауы шешімнің кемшілігі болып табылады. Сонымен бірге сандық ағымдық дамытуда әртүрлі жүрістер бар. Толық абоненттік байланысқа өту ATM негізгі технологиясының ақпаратты жіберудің қолданылуымен тығыз байланысты. Бұл жағдайда дамушы ағын жылдамдық бойынша әртүрлі нұсқаларды жіберумен ұйымдастырылуы мүмкін.

Оптикалық күшейткіштер соңғы кезде талшықты-оптикалық телекоммуникациялық торабының негізгі компоненттерінің бірі болып табылады, онда пайда болатын жүйелік бөгеуілдерді теңгереді. Қазіргі кезде 1-ші тақырыпта сипатталған (EDFA) талшықты-оптикалық күшейткіштерді жиі қолданады, оның 1,55 мкм толқын ұзындығында 35 нм-ге тең күшейту жолағы бар. EDFA-ның сипаттамалық ерекшеліктерінің бірі бір уақыт аралығында көптеген WDM арналарын күшейте алатыны. Сондықтан, жаңадан орнатылған талшықты-оптикалық тарату жүйелерінің көбісі қазіргі күнде қайталағыштардың орнына EDFA-ны қолданады.

Байланыс желілерінде келесі 3 түрлі күшейткіш қолданылады:

1. Қуат күшейткіші, ол таратқыштың шығыс қуатын үлкейту үшін арналған және оның шығысында орналастырылады;
2. Желілік күшейткіш, ол ереже бойынша, ондағы пайда болатын бөгеуілдерді теңгеру үшін байланыс желісінің ортасында орналасқан;
3. Оптикалық алдын-ала күшейткіш, ол қабылдағыштың сезімталдығын жоғарылату үшін арналған және оның кірісінде орналасқан.

Осымен байланысты:

- қуат күшейткіші таратқыштың максимальды шығыс қуатын қамтамасыз ету керек;
- алдын-ала күшейткіш жоғарғы күшейтуді қамтамасыз ету керек және қосымша шудың мүмкін деңгейін құрастырған кезіндегі сезімталдық;
- желілік күшейткіш жоғарыда көрсетілген факторлардың барлығының орындалуын қамтамасыз етеді.

Өкінішке орай, күшейткіш жетілген құрылғы болып саналмайды, сондықтан бірнеше негізгі кемшіліктері бар.

Біріншіден, күшейткіш әрқашанда қосымша шу тудырады.

Екіншіден, күшейткіштің күшеюі жалпы кіріс қуатына тәуелді, онда жоғарғы кіріс қуатының қанығуы болады. EDFA құрылғысы WDM жүйесінің талаптарын қанағаттандыратындықтан, өткізу жолағындағы күшейткіштердің тұрақсыздығы арналық сигналдардың әртүрлі күшеюіне алып келеді. Ол қанығу құбылысы болғандықтан күшейткіштердің каскадты орналасқандығынан, күшейткіштің бірқалыпсыздығы және күшейткіштің күшеюі, каскадты орналасқан оптикалық күшейткішті жүйелердің қуаттарының орналасуы нәтижесінде арнада керекті емес қуаттың өтуліктері пайда болды.

Күшейткіш байланыс желісінің бойымен орнатылған мониторинг күйімен байланысты мәліметтерді таратуға арналған, көбінесе алшақ жерде орналасқан. Ол жерлерге тікелей жету жолы мүмкін емес және де күшейткіштермен басқару үшін арналған жеке басқару арнасы қажет, мысалы, тестті өткізу үшін олардың қосылуы және өшілуі. Осы жағдай үшін басқару арнасы қабылдануы, өндірілуі және күшейткіштің әр каскадында басқа арналардан тәуелсіз байланыс жүйесімен таралуы қажет. Күшейткіш жұмыс істемегенде ғана, оның жұмыс істемеуі көрінеді. Басқару арнасы тағы басқа ақпаратты тарату үшін де арналған. Мысалы, басқару ақпараты, ол тораптағы орнату және ажырату жалғаулары үшін қолданылады. Осымен байланысты мәліметтерді таратудың, толқын ұзындығын басқару арнасының толқын ұзындығынан айырмашылығы болуы керек. EDFA-ның өткізу жолағының ішінде орналасқан толқын ұзындығы, *ішкі жолақты* және *сыртқы жолақты* басқару арнасы болып келеді, ондағы толқын ұзындығы осы жолақтың сыртында орналасады.

Егер мәліметтерді тарату және таратуды ойластыру болмаса, бірінші жағдайда жолақсыз толқын ұзындығы ретінде 1550 нм толқын ұзындығында мәліметтерді таратқан кезде, ереже бойынша 1310 нм қолданылады. Осы жағдайда, 1480 нм-дегі оңай жіберілетін лазерлердің толқын ұзындығында қолдануы мүмкін болғандықтан, бұл толқын ұзындығы EDFA толықтыруы үшін қолданылады. Сондықтан, егер осы толқын ұзындығын таңдасақ, толықтыру қуатының бір бөлігінің лағуы мүмкін және басқару арнасында қиылысылған бөгеуілдер орын алады. Осы толқын ұзындығын қолданатын алшақ орналасқан өндіруді толықтыруда қосылатын EDFA-ның бір режимі бар.

EDFA (1530 – 1565 нм) өткізу жолақтарының шектерінде орналасқан ішкі жолақты жақындау толқын ұзындығын қолдануды қорытындылайды. Бірақ осы жағдайда, трафикті тарату үшін арналған осы толқын ұзындығын қолдану мүмкіндігін ескеру керек. Басқа

жағдайда, толқын ұзындығы күшейткішінің кірісіндегі мәліметтерді тарату, бөлу және оларды күшейткіштің шығысында біріктіру өте қиынға түседі. Осы тәсілдің жалғыз артықшылығы болып, әр деңгейде күшейткіш шуының кейбір бөлігі фильтрленуі, мысалы, екі элементті күшейткішті қолданған кезде, осы толқын ұзындығындағы бірінші каскадтан кейін күшейткіштің шуымен бірге ішкі жолақты басқару арнасы фильтрленуі мүмкін.

Осы ахуалды стандарттау бойынша комиссия қарастырғаннан кейін ең керекті ретінде 1510 нм толқын ұзындығын қабылдады. Бұл толқын ұзындығы EDFA-ның өткізу жолағы шегінің сыртында орналасқан, толқын ұзындығының толықтыруымен немесе толқын ұзындығымен сәйкес келмейді және мәліметтерді тарату үшін қолданылмайды. Толқын ұзындығы (8-16) көп емес жүйелер үшін оптималды таңдау болып келеді, ол 1540-тан 1560 нм интервалында орналасқан. Бірақ оның санының өсуімен 1530-1540 нм диапазонын қолдану басталады, 1510 нм-гі толқын ұзындығының басқа толқын ұзындықтарынан бөлінуін қиындатады және басқа өте күрделі фильтрді қолдануды керек етеді. Мысалы, тармақтағыштағы қарапайым фильтрдің орнына қарапайым құрылғыны қолдану. Бұл сонымен қатар шығындарды және жүйенің жалпы бағасын жоғарылатады.

1610-1620 нм толқын ұзындығының диапазонын қолдануды жабдықты жабдықтаушылардың көбісі ұсынады, 1510 нм артықшылықтарын сақтайтын және басқару арнасының, мәліметтерді тарату арнасының жеткілікті түсіндіруін қамтамасыз етеді.

Қиылысатын бөгеуілдер – бұл жалпы термин, ол негізгі сигналға бүйірлік сигналдың әсерін таңбалау үшін қолданылады. WDM жүйесіндегі әр құрастырушы қиылысатын бөгеуілдердің сол немесе басқа нысанын құрастырады, ол сызықсыз құбылыс болып табылады. Бұл құрастырушылар фильтрлерді, толқын ұзындығы бойынша мультиплексорларды және демультиплексорларды, ауыстырып қосқыштарды, жартылай өткізгішті күшейткіштерді және фильтрдің өзін құрамына кіргізеді. WDM жүйелерінде қиылысқан бөгеуілдердің екі нысаны пайда болады бұл *арна аралық* және *ішкі арналық* қиылысқан бөгеуілдер. Бірінші түрде, сигналдың бөгеуілі толқын ұзындығында болғанда, сигналдың толқын ұзындығынан айырмашылығы осы айырма қабылдағыштың электрлік өткізу жолағынан асады.

Арна аралық қиылысатын бөгеуілдер тікелей емес қарым-қатынас нәтижесінде орын алады, мысалы, сызықсыз құбылыс нәтижесінде немесе бір арна басқа бір арнаның күшеюіне әсер тигізсе. Екінші түрде, қиылысу бөгеуілдерінің сигналы керекті сигнал орналасқан

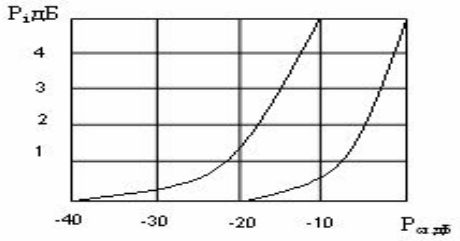
толқын ұзындығында орналасса немесе оған аса жақын болса, онда толқын ұзындығындағы айырмасы қабылдағыштың электрлік өткізу жолағының шектерінде орналасқан. Ішкі арналық қиылысатын бөгеуілдердің әсері арна аралық бөгеуілдерге қарағанда өте қарапайым болуы мүмкін. Бірақ екі жағдайда да қиылысатын бөгеуілдер қуаттың қорын қамтамасыз етуге алып келеді.

Байланыс желісінің нүкте-нүкте түрінде ішкі арналық бөгеуілдер негізгі ахуал болмайды, бірақ WDM талшықты-оптикалық тораптың негізгі ахуалы болуы мүмкін. Осы жағдайда бөгеуілдің қайнар көзі толқын ұзындығы бойынша мультиплексорлану /демультиплексорлану процесі болып саналады. Демультиплексор идеалды түрде шығыс талшықтарына сәйкес келетін әртүрлі толқын ұзындықтағы сигналдарды айыруы тиіс. Бірақ іс-жүзінде демультиплексорда идеалды емес басушы бір толқын ұзындығындағы сигналдың бір бөлігі, мысалы, λ_i, λ_{i+1} немесе λ_{i-1} аралас арнаға түседі. Нәтижесінде, мультиплексордың көмегімен сигналдар бір талшықта біріккен кезде, арна сигналының кішкене бөлігі, бұрынғы λ_{i+1} арнасының сигналымен араласып, жалпы талшыққа қайтарылып келеді және қабылдағыштың кірісіне түседі. Негізгі және қайтадан қайтарылған сигналдар сол бір ақпараттың құрамына кіргізгеннен кейін де, әртүрлі кідірту үшін өзара синхронды емес болып, ішкі арналық қиылысатын бөгеуілдердің пайда болуына әкеліп соғады. Ішкі арналық қиылысатын бөгеуілдердің қайнар көзінің бірі оптикалық ауыстырып қосқыш. Бір ауыстырып қосқыш порттың идеалды изоляциясын қамтамасыз етпейді.

Ең нашар жағдай дегеніміз, қиылысатын бөгеуілдер сигналының (SOP) поляризация күйі негізгі сигналдың SOP-ы сияқты болғанда және де уақыт бойынша синхронды емес болған жағдайын айтады. Стандартты бір модты талшықты қолданатын (поляризацияны сақтамайтын) жүйелерде, SOP уақыттың өтуімен кішкене өзгереді, уақыттық фазалық қатынас тәуелділігі факторлардың көптігіне тәуелді, оған температураның өзгеруі кіреді. Сондықтан виртуальды қиылысатын бөгеуілдердің әсерін қарастыру үшін SOP-тары сәйкес келеді, ал сигналдары синхронды емес болады. P алынған сигналдың орта қуаты, ζP- бір аралас арнадан алынған қиылысатын бөгеуілдің орта қуаты бір толқын ұзындығында деп алайық.

15.16-суретте қиылысатын бөгеуілдерден керекті қуат қорының тәуелділігі көрсетілген, 1 дБ қоры жіберілсе сигнал шуынан тәуелсіз

болғанда виртуальды бөгеуілдердің деңгейі пайдалы сигналдан 20 дБ төмен болу керек.



15.16 – сурет. Қиылысатын бөгеуілдер деңгейлерінің қуат қорынан тәуелділігі

Арна аралық бөгеуілдердің бірнеше қайнар көздері бар, мысалы, олар оптикалық фильтрмен немесе демультиплексормен құрастырылады. Басқа мысал ретінде, толқын ұзындығының оптикалық ауыстырып қосқышы қызмет атқарады, олардың ауыстырып қосқыш порттарының арасындағы изоляциясы идеалды емес болғандықтан қиылысатын бөгеуілдер пайда болады.

Арна аралық қиылысатын бөгеуілдердің әсерінен туатын қуат қорын бағалау өте қарапайым жолмен шешіледі. Егер керекті сигнал мен қиылысатын бөгеуілдер сигналының арасындағы толқын ұзындығының интервалы қабылдағыштың өткізу жолағынан үлкен болса қуат қоры мына өрнекпен анықталады;

$$P_r = Pd_s(t) + \zeta Pd_x(t).$$

Сондықтан ең нашар жағдайда алатынымыз:

$P_r(1) = P$ и $\mathrm{P}(0) = \zeta\mathrm{P}$ Жылулық шуы шектелген жағдайда, қуат қоры анықталады, яғни $\mathrm{P}_{si} = -10\log(1-\zeta)$.

Сигналға тәуелді шу доминирленетін болғанда, ол жүйелер үшін, қор мынаған тең болады

$$\mathrm{P}_{sd} = -5\log(1-\zeta).$$

Егер әсер ететін арналардың саны *N*-ге тең болса, *ал* $\zeta_i P$ қабылдағышының кірісінде орталандырылған қуатты қамтамасыз ететін әр арна ζ мына өрнекпен анықталады $\zeta = \sum_{i-1}^{N} \zeta_i$.

Мысал ретінде күшейткішсіз негізгі арнаның шығысындағы фильтрі бар WDM жүйесін қарастырайық. Бұл жағдайда қиылысатын бөгеуілдердің негізгі қайнар көзі екі аралас арна болып келеді, ал қиылысатын бөгеуілдер басқа арналарға қарағанда мәнсіз болып келеді. Қиылысатын бөгуілдердің қоры 0,5 дБ-ді құрастырса, аралас арнаны басушысы 12,6 дБ-ден көп болу керек.

Қиылысатын бөгеуілдерді басуы көп нүктелі тораптарда көп мағына бөлінеді, бұл жағдайда әр түйіннің әртүрлі элементтерінің қиылысатын бөгеуілдері керекті сигналға төселеді. Қиылысатын бөгеуілдердің талаптары туралы жақын танысуымыз керек, N бастаудан сигнал бөгеуілдерді жинайды, оның әрбіреуінің деңгейі ζ_s -ні құрастырады. Бұдан шығатын факт, кейбір әсер ететін арналар қазіргі арнаға қарағанда өте жоғары қуатты болады. Тораптар күшейткіштерден тұруы мүмкін және өз-өзінен гетеродинді сықырмен шектеледі. Егер, мысал ретінде, қуаттары тең қиылысатын бөгеуілдердің 10 әсер етуші орны болса, олардың әрбіреуі ішкі арналық бөгеуілдерді құрастырса, әр фактор үшін қиылысатын бөгеуілдердің басуы 35 дБ-ден көп болу керек және де жалпы қор 1 дБ-ден аз болмауы керек.

Екі бағытталған тарату жүйелерінде мәліметтер екі бағытта талшық бойынша беріледі, осы жүйелердегі қосымша механизмдердің қиылысатын шығындарының пайда болуына алып келеді. Бірақ физика заңдары бір толқын ұзындығы бойынша екі бағытта таратуды жібереді, ал іс жүзінде бұл шағылысудың пайда болуынан қиындатылады. Нүктеден кері шағылысуы таратқышқа жақын орналасқан, мысалы, А соңынан А қабылдағышына қайтадан жоғарғы қуатты бағыттайды, ол мән қиылысатын бөгеуілдерді туғызады, басқа В соңынан алынған сигнал қуатынан, А-ғы шағылысатын қуат үлкен болуы мүмкін. Соңында орналасқан құрылғының шағылысуы, жақсы бақылануы мүмкін, бірақ талшықты-оптикалық байланыс жүйесінен бастап шағылысуды шектеу өте қиын болады. Осы жағдайда екі бағытталған жүйелер әртүрлі бағыттарды тарату үшін әртүрлі толқын ұзындықтарын қолданады. Осымен бірге екі бағыт соңында оптикалық циркулятор немесе WDM мультиплексоры/ демультиплексоры көмегімен бөлінуі мүмкін.

Егер WDM мультиплексоры/демультиплексоры екі бағыттағы тарату басқаруында қолданылса, беріліп жатқан толқын ұзындығындағы сигнал мультиплексордың портында шағылысады, сол порт басқа сигналды қабылдауға қолданылады, нәтижесінде қиылысатын бөгеуілдер пайда болады. Осы ахуалды шешу үшін, бұл

жағдайда мультиплексор/демультиплексор қиылысатын бөгеуілдерді басуы адекватты болуы керек. Оптикалық циркуляторды қолданған кезінде қиылысатын бөгеуілдер циркулятордың идеалды емес изоляциясынан пайда болады. Сондықтан екі бағытты оптикалық күшейткіштерді анализдеу кезінде осы құбылыстың мәліметтерін ескеру керек.

Қиылысатын бөгеуілдерді азайтудың қарапайым (және ең жағымды) жолы оларды құрылғы деңгейінде басуын жоғарылату болып келеді, әрбір құрылғы үшін қиылысатын бөгеуілдерді керекті басуы, тораптағы және қуаттың жіберілетін қоры каскадталатын құрылғылармен негізделуімен анықталады. Олар қиылысатын бөгеуілдермен шарттасады. Бірақ кейбір қиылысатын бөгеуілдердің түрлерін төмендету үшін, бірнеше құрылымдық жолдар және оптикалық ауыстырып қосқыш көмегімен шақырылған бөгеуілдер де бар.

Бірінші жолы, кеңістіктік кеңейтуді қолдануы, мысалы, ζP қиылысатын бөгеуілі бар оптикалық ауыстырып қосқыш үшін оған бірнеше қолданылмайтын порттарды қосуы қолданылады, ζ^2 ретке бөгеуілдер мәнін төмендетеді. Кеңейту кемшіліктері болып, оны үлкеюсіз жетуге бола алмайды, ереже бойынша, ауыстырып қосқыштарды көбейту.

Тораптағы қиылысатын бөгеуілдерді азайтудың басқа жолы, WDM ауыстырып қосқыштағы толқын ұзындықтарындағы интервалдың кеңеюін қолдануда негізделген. Осы жағдайдағы тиімдісі, бір ауыстырып қосқыш бірнеше толқын ұзындығымен басқарып отырады, мысалы AOTF. Бұл кезде арна аралық қиылысатын бөгеуілдерді азайту үшін бір ауыстырып қосқыштың орнына екеуімен қолдануға болады, бірінші ауыстырып қосқышпен жұп арналарды басқарып, ал екіншісімен – тақтарын басқара аламыз. Бұл арна арасындағы интервалдарды көбейтеді, бірақ ауыстырып қосқыштың санын көбейткен кезінде ғана. Толқын ұзындығының кеңеюі әр толқын ұзындығы үшін бөлек ауыстырып қосқыш қолдануымен жетілдіріледі.

Мультиплексор/демультиплексорда қиылысатын бөгеуілдердің қарапайым азаю әдісі, олардың арасындағы әр толқын ұзындығы үшін қосымша фильтрді енгізуі болып келеді, ол изоляция дәрежесін жоғарылатып, қиылысатын бөгеуілдерді азайтады және де құрылғының бағасын жоғарылатады.

WDM жүйелерінде, бұрыштық жиіліктерді қолданатын $\omega_1, \ldots \omega_n$,

Интенсивтіліктен шағылысу көрсеткіштерінің тәуелділігі тек арна ішіндегі фаза ығысуын ғана емес, тағы жаңа жиіліктегі сигналдарды құрастырады $2\omega_i - \omega_j$ және $\omega_i + \omega_j - \omega_k$. Бұл құбылыс FWM төрт толқынның ығысуы деп аталады және де CPM мен SPM-нен айырмашылығы, олар жоғарғы биттік жылдамдықты жүйелерде мәнді, ал олар арналық интервалдармен және талшықтың дисперсиясымен анықталады. Арналық интервалдардың және дисперсияның азаюы FWM тиімділігін жоғарылатады, биттік жылдамдығы шектеулі жүйелер үшін де ескеру керек, арналар бір-біріне жақын орналасса ығысылған дисперсия талшығы қолданылады.

Төрт толқынның ығысу тиімділігін түсіну үшін, n монохроматикалық толқынның қосындысын көрсететін WDM сигналын қарастырайық. Сызықсыз поляризацияны есептеу өрнегі мына түрде көрсетіледі:

$$E(r,t) = \sum_{i=1}^{n} E_i \cos(\omega_i t - \beta_i z).$$

Жоғарыда көрсетілгендей, ω_i, ω_j, және ω_k жиілікті үш сигналдың өзара әсері сызықсыз поляризацияны көрсетеді. Осы өзара әсер нәтижесінде $\omega_i \pm \omega_j \pm \omega_k$ жиілікті сигналдар құрастырылады, олардың ішіндегі ең көп тынымсыздық шақыратын сигнал, мынаған сәйкес келеді $\omega_{ijk} = \omega_i + \omega_j - \omega_k$, $i \neq k$, $j \neq k$. Бөлек жиіліктерге сәйкесті осы пульсирленген сигнал жиілік бойынша бөлек арналардың біреуіне сәйкес немесе өте жақын болып келеді, осы арнадағы қиылысатын бөгеуілдерге алып келеді. *N* арналы көп арналы жүйелерде $N(N-1)^2$ көп мөлшерді бөгеуілдерге алып келеді, *i ,j ,k*-дан *N*-ға дейін сәйкес келеді.

Өзара әсер етуші сигналдардың арасындағы фазалық қатынасынан төрт толқынның ығысу құбылысы тәуелді. Егер өзара әсеретуші сигналдар сол бір топтық жылдамдықта таралса, онда дисперсия болмаған жағдайда не болады, бұл құбылыс күшейеді. Басқа жағынан қарасақ, дисперсия бар кезінде әртүрлі сигналдар әртүрлі топтық жылдамдықтармен таралады. Осылай, әртүрлі толқындар синхрондалады және синхрондалмайды, ол ығысу тиімділігінің төмендеуіне алып келеді. Дисперсиялы арналарда жылдамдық айырмашылығы көп, егер арналар бір бірінен алшақ орналасса.

Төрт толқынның ығысуынан пайда болатын қуат қорын анықтау үшін, біз анализ нәтижесін қолданамыз:

$$P_{ijk} = \left(\frac{\omega_{ijk} \bar{n} d_{ijk}}{3cS_e} \right)^2 P_i P_j P_k L^2.$$

Бұл теңдеу шығынсыз және дисперсия L ұзындығына байланыс желісіне сәйкес келеді, мұндағы P_i, P_j және P_k — аралас толқынның қуаттары; P_{ijk}— жаңа нәтижелік толқынның қуаты; $\bar{n}$ –шағылысудың сызықсыз көрсеткіші $3 \cdot 10^{-8}$ мкм^2; d_{ijk} – туғызу факторы.

Іске асатын жүйелерде шығындар және дисперсия орын алады. Шығындарды есептеу үшін, L-ды L_e тиімді ұзындыққа ауыстырамыз, ол берілген, дисперсияның әсерін есептеуде n_{ijk} коэффициентін қолданамыз, ол ω_i, ω_j және ω_k жиілігіндегі үш толқынның ығысуының тиімділігін көрсетеді. Осының бәрі ескеріліп алдыңғы теңдеу мына түрде көрсетіледі: $P_{ijk} = n_{ijk} \left(\frac{\omega_{ijk} \bar{n} d_{ijk}}{3cS_e} \right)^2 P_i P_j P_k L^2.$

Ок сигналдары үшін ω_{ijk} жиілігіндегі ең нашар жағдайды көрсетеді, шарт бойынша ω_i, ω_j және ω_k жиіліктерінде 1 бит біруақытта берілген болса ғана.

Өзара әсерлесуші сигналдардың арасындағы $\Delta\beta$ сәйкессіздігінің жоғарылауы мен n_{ijk} тиімділігі төмендейді.

$$n_{ijk} = \frac{\alpha^2}{\alpha^2 + (\Delta\beta)^2} \left[1 + \frac{4e^{-\alpha l} \sin^2(\Delta\beta l/2)}{(1 - e^{-\alpha l})^2} \right],$$

$\Delta\beta$ − әртүрлі толқынның тұрақты таралуларының айырымы; D–хроматикалық дисперсия. Компонент бойынша тиімділік, фаза бойынша өзара әсерлесетін толқындар сәйкес келетін немесе сәйкес келмейтін талшық ұзындығы бойымен периодты өзгереді. Фазалар айырмашылығы мына теңдеумен есептеледі:

$$\Delta\beta = \beta_i + \beta_j - \beta_k - \beta_{ijk},$$

Мұндағы β_r – λ_r толқын ұзындығындағы таратудың тұрақтысы.

Төрт толқынның ығысуы ішкі арналық қиылысатын бөгеуілдерде пайда болады, ω_c арнасы үшін жалпы қиылысатын бөгеуілдер, былай анықталады:

$$\sum_{\omega_i+\omega_j-\omega\ \mathrm{k}=\omega_\mathrm{C}} P_{ijk}\ .$$

Байланыс желісіндегі шығындарға сәйкес болу үшін, күшейткіштің күшейту компоненттерінің коэффициенттері көрсетілген, яғни әр арнадағы шығыс қуаты кіріс қуатына тең болуы керек. Осы жағдайда қиылысатын бөгеуілдердің қоры ескеріле отырып есептеледі.

Егер арналар бірдей интервалда орналасса және бірдей қуатты таратса, максимальды жіберілген қуаты FWM нәтижесінде 1 дБ-ге тең болады, онда әр арнадағы берілетін қуат *p*-ға тең болады, ал әр арнадағы максимальды FWM қуаты $< \zeta P$ мынадай болу керек. Мұндағы ζ 1 дБ қор кезінде 0,034-ке тең болады. FWM қуаты желі ұзындығының жоғарылауымен өседі, әр арна үшін оның ұзындығына тәуелді берілетін қуаттағы шектеуліктерді орнатады.

Төменде төрт толқынның ығысуымен шақырылған, қорды азайтатын жағдайлар көрсетілген:

1. Арна арасындағы теңсіз интервалдардың қолданылуы, қабылдағыштың өткізу жолағындағы өзара әсер шектелген кезіндегі арналардың орналасуын қамтамасыз етеді, бірақ бұл бірнеше арна саны үшін мүмкін және олардың нақты орналасуының тиянақты есебін талап етеді.

2. Арна арасындағы интервалдардың жоғарылауы. Бірақ бұл арна арасындағы топтық жылдамдықтың айырмасына алып келеді және барлық жүйенің өткізу жолағы үлкейеді, кең жиілік жолағындағы толқын ұзындығынан оптикалық күшейткіштердің күшейту коэффициенті тұрақтылығының үлкеюін талап етеді және SRS үшін қорды жоғарылатады.

3. DSF-ты 1560 нм-ден жоғары толқын ұзындығын қолдану, мәнді дисперсия үшін төрт толқынның ығысу әсерін әлсіретеді, бірақ қазіргі уақытта осы жолақта жұмыс істейтін жоғарғы сапалы күшейткіштер жоқ, ал қазіргі заманғы EDFA-ның күшеюі 1560 нм-ден кейін азаяды. Осы себептен EDFA-ның өткізу жолағын кеңеюінің мүмкіндіктері жүргізіліп жатыр, осы диапазондағы алшақ ара-қашықтыққа таратуды қамтамасыз ету үшін.

4. Тарату арнасының ортасына демультиплексорлауды және мультиплексорлауды енгізуі, сонымен бірге әр толқын ұзындығы үшін әртүрлі кідіртуді туғызады. Нәтижесінде толқын ұзындықтары арасындағы фазалық қатынастар өздігінен алынады, ал оған дейінгі және одан соңғы нүктелердің әртүрлі жиіліктегі қуаттары қосылады, ол FWM үшін талап еткен қордың төмендеуіне алып келеді.

5. Күшейткіштер арасындағы таратқыш және интервалдар қуатының азаюы барлық сызықсыз құбылыстар үшін қордың төмендеуіне алып келеді.

WDM тығыздануы технологиясының негізгі артықшылықтары тораптардың түрленуі кезінде пайда болатын икемділігі бар оптоталшықты байланыс желісіне жаңа арналарды қосу жолымен түрлендіруге болады. Негізінде, бар болған желіге жаңа арналарды қосу процесі нақты болып келеді, бірақ ол сәйкес келетін тесттік құрылғының және тесттік процедуралардың бар кезінде ғана жүзеге асырылады, WDM тығыздалу жүйесінде инсталляция кезінде мынаны анықтап алу керек:

- әрбір арна берілген толқын ұзындығында жеткілікті қормен жұмыс істейді;
- спецификациямен сәйкесті барлық компоненттер спектральді келісілген;
- арналардың арасындағы қиылысатын бөгеуілдер жеткілікті төмен деңгейде орналасқан;
- оптикалық талшықтағы дисперсия және сызықсыз эффектілер жеткілікті төмен деңгейде анықталады;

Осы жалпы талаптарды WDM жүйелері үшін критикалық өлшеулер жолымен орындауға болады, оларға жататындар:

Орталандырылған толқын ұзындығы, әр арна үшін нақты өлшеу, бар болған сипаттамаларға сәйкестігін білу үшін қажет. Осы параметрдің өзгеруі, температураның өзгеру факторы сияқты, кері сейілу және лазер модуляциясы эксплуатациясының барлық шарттарындағы берілген толқын ұзындығының шектерінде сигнал қалады және осы позицияда анықталады.

Максимальды қуат әр қол жеткізетін қосылу нүктесінде әр арна үшін өлшенілуі қажет, осыдан энергетикалық бюджет қамтамасыз етіледі, ал қуат деңгейі байланыс желісінің барлық ұзындығы бойынша қол жеткізу шегінде орналасады. Каскадты-орналасқан EDFA жүйелерінде негізгі болып келетін, мұндағы әр арнамен таралатын, ауытқу күшейткіші жалпы қуатқа әсер тигізеді.

Сигнал/шу қатынасы жүйенің биттік жылдамдығын анықтағандағы негізгісі болып келеді және осыдан, оның тиімділігі артады. WDM тығыздануы жүйесіндегі қабылдау жағында детектормен қабылданатын оптикалық шудың деңгейін сипаттайды, жүйеге оптикалық күшейткішті енгізу негізгі мән атқарады, онда шу күшейтілген эмиссиямен өз-өзінен негізделген.

Қиылысатын бөгеуілдер WDM жүйесінде талшықты оптикада сызықсыз эффект ретінде келтірілген, мультиплексорлар мен демультиплексорлар бір арнадан екінші арнаға толық оқшаулауды

жүргізе алмайды. Арналардың арасындағы еріксіз қатынас таратудың сапасына сигнал/шу қатынасы сияқты эффект тигізеді, сондықтан осы параметрлермен бірге қиылысатын бөгеуілдер де өзгерілуі керек.

EDFA және басқа компоненттер өндірушілермен жеке тексерілуіне қарамастан, EDFA-ның күшеюін және шу көрсеткішін өлшеуі қажет, олардың бір-бірімен жұмыс істеу сәйкессіздігін тексеруі керек. Көп күшейткішті жүйелердегі негізгі мәні ауытқу күшейткіші болып келеді, ал спонтанды эмиссияның (ASE) шу көрсеткіші осы жағдайларда негізгі болады, ол барлық оптикалық арнадағы сигнал/шу қатынасын төмендетеді.

Оптикада қайта келетін шығындар сапасыз коннекторлар немесе WDM тығыздық жүйесі компоненттерінің жасамсыздығы және олар әрбір бөлек арна үшін айырылуы керек. Сондықтан оларды әр спектральді диапазонда басқарып тұру керек. Бұдан басқа , енгізілетін қосымша шығындар үшін бұл параметр өте керекті болып келеді, алдында болған элементтердің тұрақтылығына теріс әсер тигізетін шағылысқан энергия болуы мүмкін. Толқын ұзындығының ауытқуымен байланысты рискті де қосуға болады және WDM тығыздау жүйесі жоғарғы оптикалық қуат деңгейлерінде жұмыс істейді.

Компоненттердің өткізу жолағы және оған енгізілетін шығындардың ақауларды іздеу, жоқ жасау кезіндегі мәндері бар, сондықтан тораптың әр компонентінің, спектрдің нақты сипат-тамасының мәні инсталляция және қызмет көрсеткен кезде фактілік қажеттілік болып келеді.

Оптикалық талшықтың сипаттамаларына талшықты-оптикалық байланыс жүйелерін жобалаған кезде міндетті түрде көңіл бөлінуі керек және оның инсталяциясынан кейін ол тексерілу керек, WDM тығыздау жүйесі хроматикалық дисперсияға өте сезімтал болып келегендіктен, кішкене, бірақ жақсы басқарылатын бөлігі, төрт толқынның ығысуы сияқты құбылысты жоқ жасауға қажет. Поляризациялы модалық дисперсияны өлшеу де негізгі болып саналады, ол функционалданатын жүйелердің жылдамдығын жоғарылатумен жақсы басқарылады.

Техникалық қызмет көрсетудің, табудың және ақауларды істен шығарудың жаңа талаптары.

WDM тығыздау жүйелері жаңадан шығып жатқандықтан олардың техникалық қызмет көрсетуі іс жүзінде әлі бекітілген жоқ. Осы жағдайда көп ықтималды ахуалдың бөлек тарату арнасында биттік жылдамдығын көбейту, ол лазерлік бастаулардың,

күшейткіштің ауытқуынан, EDFA-ғы шудың үлкеюі немесе басқа бір компоненттің тарату спектральдік сипаттамаларының кездейсоқ өзгеруі, толқын ұзындығының өзгеруінен пайда бола алады. Тәжірибелік жағдайларда бірлік арнаның әлсіреуі жеткен нүктедегі берілген толқын ұзындығы жойылады. Ескере кеткен жөн, тарату сапасының төмендеуі сигнал/шу қатынасымен бірге келеді, сондықтан әр тарату арнасы үшін осы параметрді өлшеу кезектес есеп болып келеді, ол техникалық қызмет көрсетуде, табу процесінде және ақуалдарды істен шығару кезінде пайда болады.

Өрістік шарттағы толқындық тығыздау жүйесін тексеру.

Қазіргі заманғы WDM тығыздықты талшықты-оптикалық тораптар жаңа жүйелік параметрлерді құрастырады және дәстүрлі жүйеге қарағанда, өрістік шарттағы тексерудің одан күрделі процедураларын өткізуді талап етеді. Толқын ұзындығы бойынша мультиплексорлау тарату жүйесі операторларының алдында тұратын көп ахуалдардың шешімі болып табылады.

Жаңа технологиялық шешім қазіргі тораптардың сыйымдылығын қымбат тұратын кабельдерді қолданбай-ақ үлкейтуге болады, тораптың модернизациялау бағасын арзандатуға болады және оптикалық тораптарда арналарды қосу, ажырату жолымен қолдануға болады. Жоғарыда көрсетілген артықшылықтар жай қолға келмейді, осы жағдайда оптикалық компоненттерін және кабель сипаттамаларын алдыңғы ұрпақты тарату жүйелерін есептеуде қолданбауға болады. Осы жүйедегі жаңа спектр облысын қолданғанда, тораптың жобалауына, компоненттерді таңдауда және оған қызмет көрсетуде жаңа талаптар қойылады, ал бұл қазіргі заманғы уақыттық мультиплексорлау жүйесіне қарағанда, ТОБЖ-ның сипаттамаларын және олардың оптикалық параметрлерін нақты анықтағанда қажет.

Егер WDM тығыздау технологиясымен көрсетілген артықшылықтарды қолдану қажет болса, торап операторларына төменде айтылған өлшенулерді өткізуге дайын болуы керек.

Оптикалық сәулеленудің интенсивтілігімен модуляцияланғанды тура табуы және когерентті қабылдағышта амплитуда, жиілік немесе фаза бойынша модуляцияланған сәулелік толқынның өрісінде негізделген талшықты-оптикалық тарату жүйелері қарастырылған. Берілген жүйелердің негізгі көрсеткіштері анықталған және тарату ортасының параметрлеріне олармен шектеуліктер енгізілген. Көрсетілген дәстүрлі жүйелерде шығындар мен талшықтың әртүрлі дисперсия түрлерін ескерсек, ал қазіргі заманғы жүйелерде қосымша факторлардың тарату сапасына әсерін анықтауы қажет. Көрсетілген таратудың жылдамдығы мен ығысылған нөлдік дисперсиялы

оптикалық талшықпен талшықты-оптикалық күшейткітерді сәйкестіру ұзақтығын үлкейтумен байланысты. Толқындық тығыздау жүйелері қарастырылған және олардың автомодуляция, қиылысатын фазалық модуляция, төрт толқынның ығысуы, Рамана мен еріксіз Брил-люэна сейілуі сияқты физикалық эффектілермен төселінетін шектеуліктер анықталған. Олардың тарату параметрлеріне әсері әртүрлі және көптеген факторлармен анықталады.

Ақпараттық ағындарды тығыздау әдістері. **А**қпаратты тарату жүйелерінің өткізу қабілеттілігін арттырудың бірнеше әдістері бар. Олардың көбі байланыс желісімен таралатын бір топтық ағынға компонентті ақпараттық ағындарды тығыздау әдістерінің біріне келіп тіреледі. Тарату жүйесінің ақпараттық сыйымдылығын одан әрі арттыру үшін бір немесе одан да көп әдістерді бірге қолдану кең таралған. Соңғы уақытта «тығыздау» терминінің орнына «мультиплексорлау» термині көп қолданылады, ол ағылшын тілінен аударғанда тығыздау дегенді білдіреді. Талшықты-оптикалық жүйелерге қатысты топтық ақпараттық ағындарды тығыздау әдістерін екі түрге бөлуге болады: электронды тығыздау және оптикалық тығыздау. Тығыздау әдістерінің көбі қазіргі байланыс жүйесінде кең қолданылғандықтан, олардың әрқайсысын қарастырамыз.

Уақыттық тығыздау әдісі (TDM). Қазіргі кезде ақпаратты уақыттық тығыздау әдісі (TDM —Time Division Multiplexing) ең кең таралған. Ол ақпаратты цифрлық түрде таратуда қолданылады. Оның мәні келесідей. Тарату процесі уақыттық циклдер қатарына бөлінеді, олардың әрқайсысы өз кезегінде N субциклдерге бөлінеді, мұндағы N - тығыздалатын ағындардың саны (не арналардың). Әрбір субцикл уақыттық позицияларға, яғни уақыттық интервалдарға бөлінеді, бұл уақытта цифрлық тығыздалатын ағындардың бірінің ақпараты таралады. Сонымен бірге, бірнеше позиция идентификациялық синхроимпульстерге және қызметтік байланыстың цифрлық ағынына арналады. Мысал ретінде Е2 (ПЦИ) цифрлық ағынының тоқұйымдастыру процесін қарастырамыз. Ол 8,448 Мбит/с ПЦИ-У1 (2,048 Мбит/с) 4 цифрлық ағынынан қалыптасады. Тарату процесі ұзақтығы 125 мкс болатын уақыттық циклдерге бөлінеді. Бұл циклдер әрқайсысының ұзақтығы 31,25 мкс 4 субциклге бөлінеді.

Субциклдер 264 уақыттық қимаға (позицияға) бөлінеді, ұзақтығы 118,4. Оның ішінде 8 позиция синхроимпульстерге және қызметтік ақпаратты цифрлық таратуға арналған. Әрбір уақыттық қиманың ұзақтығы t тактілік жиілікті анықтайтын тактілік интервалға тең (8,448 Мбит/с) топтық ағыны үшін:

$$f = \frac{1}{\tau_{и}} = \frac{1}{118{,}4 \cdot 10^{-9}\,\text{с}} = 8{,}448 \cdot 10^{6}\,\text{Гц} = 8{,}448\,\text{МГц}$$

Уақыттық тығыздау әдісі екі түрге бөлінеді – асинхронды немесе плезиохронды, уақыттық мультиплексорлау (ПЦИ (PDH), АТМ) және синхронды уақыттық мультиплексорлау (СЦИ (SDH)). Қазіргі заманғы ТОБЖ жүйелерінің техникалық сипаттамалары бойынша цифрлық ақпараттық топтың ағынын таратудың максимал жылдамдығы шамамен 2,5 Гбит/с тең. СЦИ топтың жүйелері сигналды 10 Гбит/с жылдамдықпен (STM-64) қолданылады. Бірнеше жыл бұрын бұл электронды мультиплексті құрылғылар үшін шек болып саналды. Алайда жаңа электронды технологиялардың дамуының арқасында (галий-арсениді, микровакуумды элементтер негізіндегі жартылай өткізетін құрылымдар) 40 Гбит/с (STM-256) жылдамдығына арналған жаңа мультиплексорлар лабороаторияда шығарылып, қолдануға дайындалуда тарату жылдамдығын арттыру мақсатында лабораториялық тәжірибелер жалғасуда.

Жиіліктік тығыздау әдісі (FDM). Жиіліктік тығыздау әдісі (FDM – Frequency Division Multiplexing) әрбір ақпараттық ағында физикалық арнамен сәйкесті жиілікте - $f_{\text{пн}}$ тасушыда таралады. Егер физикалық арна ретінде оптикалық сәулелену болса – яғни оптикалық тасушы, онда ол спектрі тасушылар қатарынан тұратын топтық ақпарттық сигналмен интенсивтілігі модуляцияланады. Спектрдегі тасушылар саны компонентті ақпараттық ағындар санына тең. Әрбір тасушының жиілігі $f_{\text{пн}} \geq 10_{\text{вчп}}$, шартынан таңдалады, мұндағы $f_{\text{пн}}$ — ақпараттық ағын спектрінің жоғарғы жиілігі. Тасушылар арасындағы жиіліктік интервал $\Delta f_{\text{пн}}$ келесі шарттан алынады $\Delta f_{\text{пн}} \geq f_{\text{вчп}}$.

Оптикалық сәулелендуді топтық сигналмен модуляциялау кезінде қиылысатын бөгеуілдерді төмендету үшін жиіліктік тығыздаудың электронды құрылғысының өткізу сипаттамасы және лазерлік ватт-амперлі сипаттамасы деңгейлердің кең диапазонында жоғары сызықтыққа ие болуы керек. Бұл кезде оптикалық сәулеленудің модуляция коэффициенті m (эстинкция коэффициенті) тығыздалатын арналар санына тәуелді және әдетте 10% аспайды.

Қабылдау жағында оптикалық тасушы фотодетекторға түседі, оның жүктемесінде электрлік топтық ағын белгіленеді, қабылдаудың кең жолақты күшейткішінде күшейтілгеннен кейін тар жолақты сүзгілердің кірісіне келеді. Олардың орталық жиілігі тасушы жиіліктердің біріне тең.

Компонентті ағындар ретінде цифрлық та, аналогті сигналдар да болуы мүмкін. Қазіргі уақытта таратудың кабельді жүйелерінде жиіліктік тығыздау көп арналы кабельді теледидарда қолданылады, мұнда осы мақсатқа 47-ден 860 МГц-ке дейінгі диапазон, яғни метрлік және диаметрлік ТД диапазондары арналған.

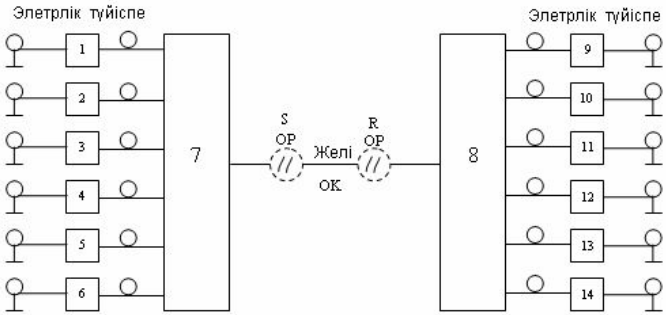
Модтық тығыздау (MDM). Көпмодты оптикалық талшықты қолдануға негізделген кейбір тарату жүйелерінде модтық тығыздау (Mode Division Multiplexing) [11] қолданылады. Тығыздаудың бұл әдісінің мәні келесідей. Көпмодты оптикалық талшықта оптикалық сәулеленудің таралу процесі геометриялық оптика позициясынан қарастырылады. Осыған сәйкес, көпмодты талшықтың кіріс тореціне $\varphi_1 \langle \varphi_{кр}$ бұрышпен оптикалық сәуле түссе, осы торец арқылы талшыққа енген және осы ОТ бойымен қатаң белгіленген траекториямен қозғалған там сондай-ақ φ_1 бұрышпен шығады. Бұл шарт ОТ – қа түсетін $\varphi_к$ бұрыштағы өзге де сәулелерге орындалады, мұндағы $\varphi_1 \langle \varphi_{кл.}$. Талшықтың кірісінде және шығысында модтық селекторлар қолданып тәуелсіз ақпараттық ағындарды сәйкес модтарға таратуды орындауға болады, олар бұл жағдайда арналар рөлін атқарады. Модтық тығыздау араласу болмаған және модтың өзара түрленуі жоқ кезде ғана жұмыс істей алады. Бұл шарт келесідегі ОТ үшін орындалады: локальді біртексіздіктері тіпті жоқ, соның ішінде иілулері жоқ көп арналы ОТ үшін. Әдетте модтық тығыздау әдісі ақпарат бірнеше – ондаған метр аз қашықтықта таралатын автоматиканың кейбір жүйелерінде қолданылады.

Поляризация бойынша тығыздау (PDM). Сызықты поляризациясы бар оптикалық тасушылар көмегімен ақпарат ағындарын тығыздау поляризация бойынша тығыздау (PDM — Polarization Division Multiplexing) деп аталады. Бұл кезде поляризация жазықтығы (әрбір тасушы үшін) өз бұрышымен орналасуы керек. Мультиплексорлау арнайы оптикалық призмалар көмегімен орнатылады, мысалы Рошона призмасы. Бұл әдіс модтық тығыздауға ұқсас. Топтық ағынды тарату ортасы ретінде бірмодты талшық қолданылуы мүмкін. Алайда MDM секілді поляризациялық тығыздау тек тарату ортасында (ОТ) оптикалық анизотропия жоқ болғанда ғана жұмыс істей алады, яғни талшықта локальді біртексіздіктер мен иілулер болмауы керек. Бұл берілген тығыздауды аз қолданудың бір себебі. Атап айтқанда, оптикалық изоляторларда, сонымен қатар талшықты күшейткіштерде эрбилік талшық құрылғыларында екі

лазердің сәулеленуін қосу үшін қолданылады. Ол сәулелердің поляризациясы созылған эллипс түрінде болады.

Оптикалық тасушылардың көп толқынды тығыздалуы (WDM). ТОБЖ өткізу қабілетін TDM көмегімен тарату жылдамдығын арттыру жолы арқылы жоғарылату мәселесінің шешілуі уақыттық электронды тығыздау кезіндегі техникалық қиындықтармен ғана шектелмейді, сонымен бірге оптикалық импульстердің ОТ бойымен таралу кезіндегі уақыттық (хроматикалық) дисперсиясының пайда болуымен де шектеледі. Бұл SDM тарату жүйелері - STM-16 және STM-64 үшін хроматикалық дисперсияның мүмкін болатын шамасын салыстыруда байқалады. Олар сәйкесінше: 10500 пс/нм және 1600 пс/нм және поляризациялы модтық дисперсия – 40 пс және 10 пс .

Жоғарыда көрсетілген мәселе оптикалық тасушыларды көп толқынды тығыздау – WDM (Wavelength Division Multiplexing) көмегімен шешіледі. Бұл әдістің мәні келесіде λ_m толқын ұзындығына әрқайсысы өз оптикалық тасушысымен таралатын және кеңістікте жойылған таралатын ақпараттық ағын арнайы құрылғылар – оптикалық мультиплексор (ОМ) көмегімен бір оптикалық ағынға $\lambda_1 ..... \lambda_m$ бірігеді, содан соң ол оптикалық сызықтық талшыққа енеді. Осы талшық оптикалық кабельдің құрамында болады. Қабылдау жағында кері операция-демультиплексорлау орындалады. WDM осындай жүйесі G.692 ұсынысына сәйкес WDM тарату жүйелеріне SDH бірмодты тарату жүйелерінің оптикалық интерфейс аппаратураларымен сәйкестену шарты орындалуы тиіс. WDM жүйелерінің оптикалық параметрлері G.692 ұсынысында регламенттеледі және онда әрбір арна үшін оптикалық жиіліктер мен толқын ұзындықтары анықталған. Осы ұсыныстарға сәйкес, көп толқынды тарату жүйелері ОТ-ң 3 мөлдірлік терезелерінде жұмыс істейді, яғни 1530...1565 нм толқын ұзындығының диапазонында. Бұл үшін оптикалық жиіліктер торы түріндегі толқын ұзындықтарының стандарты бекітілген. Торда 196,1 ТГц-тен 192,1 ТГц (1 ТГц = 10^{12} Гц) оптикалық жиіліктердің мәндері жазылған. Олардың интервалдары 100 ГГц және толқын ұзындықтары: 1528/77 нм-ден 1560,61 нм-ге дейін, интервалы 0,8 нм.



15.17 – сурет. WDM-ді тарату жүйесінің құрылымдық схемасы:
1 – 6 және 9 – 14 бір арналы құрылғы SDH – STM немесе STM- 64;
7 – оптикалық мультиплексор; 8 – оптикалық демультиплексор

Стандарты 41 толқын ұзындығынан тұрады, яғни 41 спектральды арнаға есептелген. Алайда практикада берілген жиіліктер торынан 39 арна пайдаланылады. Екі шеткі арна қолданылмайды, себебі WDM жүйелерінің оптикалық күшейткіштерінің жиіліктік сипаттамаларының ішінде орналасқан. Бұл жайлы төменде толық қарастырылады.

Соңғы кезде спектральды арналар арасында интервалды 50 ГГц-ке дейін және тіпті 25 ГГц-ке дейін төмендету тенденциясы қалыптасты. Бұл берілген толқын ұзындықтарының диапазонында (1530...1565 нм) спектральды арналарды тығыз орналастыруға алып келеді. Бұл тығыздық толқындық тығыздау деп аталады немесе DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) таралатын арналар санын арттыру жолында пайда болады. Атап өтетін жай, қазіргі кезде DWDM абревиатурасы көп толқынды тығыздау жүйелерінде де қолданылады, онда арналар арасындағы жиіліктік интервал 100ГГц-ке тең.

DWDM жүйелері үшін оптикалық жиіліктердің регламенттелуі оптикалық тасушылардың $(\lambda_1 ... \lambda_m)$ жиіліктерінің дәл және тұрақты болуын қажет етеді.

ITU-T G.692 ұсынысында бұл мәселе қарастырылуда және құжаттарда бұл параметрлердің сандық мәні жоқ екендігі көрсетілген. Алайда белгіленген спектральды арналардың жиілік мәндері мен олардың арасындағы жиіліктік интервалдар бойынша лазердің сәулеленуінің спектральды желісінің мүмкін болатын енін (Δ_1), сонымен қатар оптикалық жиіліктің уақыттық тұрақсыздығын $\Delta 1$ дәл

анықтауға болады. Ол үшін 15.17-суретті қарастырамыз, мұнда абцисса осінде оптикалық жиіліктер мәні 10 ГГц интервалымен, ал ордината осінде – нормаланған оптикалық қуат $P_{опт}$ орналасқан.

Қазіргі уақытта оптикалық байланыста оптикалық тасушыны модуляциялаудың бір ғана түрі қолданылады. Радиоспектрде амплитудалық модуляцияға ұқсас интенсивтілік модуляциясы қолданылады. Екі арнада да STM-64 деңгейінің цифрлық ағындары таралады делік, яғни жылдамдығы 10 Гбит/с болатын ағындар. STM-64 цифрлық ағынының спектрі тактілі жиіліктің 10 ГГц – 1-ші гармоникасымен шектеледі деп санайық (практикалық жүйелерде осындай болады). Онда әрбір арнаның спектрі 3 құраушыдан тұрады - ν_0 орталық жиілік, $+\Delta\nu_0$ және $-\Delta\nu_0$ шеткі. Оптикалық арналарды көптолқындық (немесе спектральды) тығыздау радиоарналарды жиіліктік тығыздауға немесе аналогті тарату әдісінен кабельдік жүйелерге ұқсас. Сондықтан көптолқынды оптикалық жүйелерге көрсетілген жүйелердегі жиіліктік тығыздаудағы қатынастар сәйкес, яғни көршілес арналар арасында жиіліктік интервал арна модуляциясының екі еселенген жоғарғы жиілігінен кем болмауы тиіс. Жоғарыдағы сурет бойынша бұл шарт орындалады. Қандай да бір себептермен орталық жиілік өзгереді делік – бірінші арна үшін 10 ГГц –ке өсті, ал екінші арна үшін сонша кемиді. Онда арналар аралас интервал 10 ГГц болады. 10 ГГц интервалы $\Delta\lambda$ = 0,08 нм толқын ұзындығының интервалына сәйкес. Сонымен, DWDM әдісімен STM-64 ағындарын тарату кезінде 50 ГГц спектральды интервалда сәулелену желісінің спектральды ені $\Delta\Delta\lambda = \pm 0{,}04$ нм шамасынан аспауы тиіс және оптикалық жиіліктің тұрақсыздығы ±5 ГГц-тен төмен болмауы керек. STM-16 цифрлық ағынын DWDM әдісімен тарату кезінде спектральды желі енінің мүмкін болатын шамасы ұлғаюы мүмкін.

Сондықтан оптикалық мультиплексордың кірісіне оптикалық сигналдар түсуі керек, олардың параметрлері спектральды G.692 стандартында белгіленген шамаларға тең болуы керек. Мұндай сәйкестік DWDM – құрылғысында арнайы құрылғы–транспандер қолдану арқылы орындалады. Бұл құрылғының оптикалық кірістері мен шығыстарының саны тығыздалатын оптикалық сигналдар санына тең. Бірақ транспондердің кез келген кірісіне параметрлері G.957 ұсынысында анықталған оптикалық сигнал келіп түссе, онда шығыстағы сигнал G.692 ұсынысына сәйкес болуы тиіс.

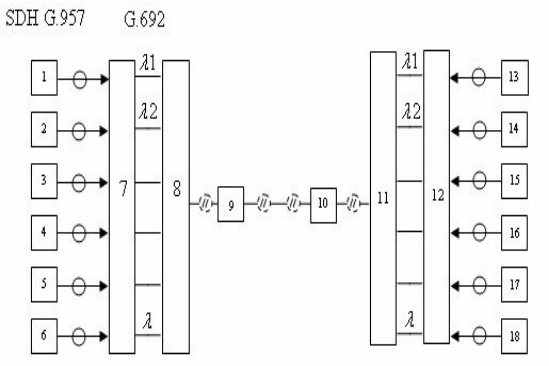
Бұл кезде егер m оптикалық сигнал тығыздалса, онда транспандер шығысында әрбір арнаның толқын ұзындығы жиіліктер

торына сәйкес олардың біріне сәйкес болуы керек, яғни 1 арна үшін оптикалық сигналдың толқын ұзындығы λ_1, екінші үшін λ_2 және т.с.с. λ_m дейін. Транспондер шығысынан бұл оптикалық сигналдар оптикалық мультиплексордың $\lambda_1 .... \lambda_m$ толқын ұзындығындағы сәйкес кірістеріне келіп түседі. DWDM тарату жүйесінің құрылымдық схемасы 15.18 – суретте көрсетілген.

Атап өтетін жай, толқын ұзындықтары бойынша оптикалық тығыздау кезінде оптикалық мультиплексорда (ОМ) үлкен шығындар болады. 16 спектральды арналарды DWDM тарату жүйелерінде ОМ арнадағы шығыны ~7...9 дБ (бір жақта) болады. Екі жақтағы (таратуда және қабылдауда) шығындар шамасы 14...18 дБ құрайды. Мұндай шығындар жүйенің энергетикалық потенциалын төмендетеді, сондықтан оптикалық күшейткіштерсіз аз қашықтықта – 50 км-ге дейін 8 арнаны таратуы мүмкін. ОМ энергетикалық шығындардың орнын толықтыру үшін таратуда қуаттың талшықты-оптикалық күшейткіші (BOOSTER қолд.). Егер бұл қуат жеткіліксіз болса, онда оптикалық күшейткіш қабылдау жағында да қолданылады.

16 және одан да көп спектральды арналарды таратуға арналған DWDM жүйелерінде оптикалық сигналдарды мультиплексор кірісіне жіберместен бұрын қолданады. Бұл көпарналы мультиплексорлардың әсерінен болатын арна шығындарының жоғары болуы себебінен орындалады.

Мультиплексорланғаннан кейін топтық оптикалық ақпараттық ағын жиі оптикалық күшейткіште күшейтіледі. Бұл кезде оптикалық ағынның қосынды оптикалық қуаты 10 мВт шамасынан артуы мүмкін. Мұндай қуатта сызықсыз оптикалық құбылыстардың әсері байқалатыны белгілі. Сызықсыз құбылыстар ОТ-та оптикалық сәулеленудің таралу процесінде пайда болады. Ол келесі құбылыстар: оптикалық тасушы фазасының өздік модуляциясы (SPM), фазаның қиылыстық модуляциясы (CPM), төрт толқынның ығысуы (FWM). Бұл құбылыстар көрсетілген қуаттан бастап көп арналы тарату кезінде қосымша шуылдар мен бөгеуілдер түрінде болады. Оптикалық қуаттың бірнеше ондаған мВт қуатынан бастап Бриллюэннің ыдырау эффектісі SBS байқалады (кеңестік әдебиетте ВРМБ – Мандельтан-Бриллюэн ыдырауы деп белгіленген), ал 200 мВт шамасында қуатта Рамана ыдырауының SRS әсері жоғары (кеңестік әдебиетте ВКР – комбинациялық ыдырау) болады.



15.18 – сурет. DWDM тарату жүйесінің құрылымдық схемасы
1 – 6 және 13 - 18 – SDH құрылғысы; 7,11 – транспондер; 7,12 – мультиплексор/демультиплексор; 9,10 – қабылдау мен таратуға сәйкесті оптикалық күшейткіштер

Аталған құбылыстардың физикалық аспектлері оптикалық талшықтарға арналған тарауда қарастырылады. DWDM жүйелерінде қосынды оптикалық қуат шамасы МСЭ (ITU-T) G.692 ұсынысымен регламенттеледі және +17дБм (50 мВт) деңгейімен шектеледі. Бұл деңгей екі факторға негізделген – сызықсыз құбылыстардың әсері және қызмет көрсететін адамдардың қауіпсіздігі. Бұл құжатта оптикалық сигналдың әрбір компоненті қуатының шамасын анықтау алгоритмі келтірілген. + 17 дБм шамасы толық тіркелмеген және ITU-T келесі ұсыныстарға *+23* дБм шамасына дейін артқанын айту керек.

МСЭ құжаттарында жоғарыда аталған WDM жүйелердің оптикалық жиіліктер торы мен топтық сигналдың оптикалық қуатының мүмкін деңгейінен басқа, желінің WDM-мен қосылу стандарты белгіленген. Желі құрылуының 3 нұсқасын ұсынған:

L (long) —пассивті аймағы 80 км-ге дейінгі және шығындары 22 дБ ұзын желі. Мұндай желінің 640 км максимал ұзындығында 7 аралық күшейткішке дейін қосылуы мүмкін;

V (very) – пассивті аймағы 120 км-ге дейінгі және шығындары 33 дБ өте ұзын желі. Желі ұзындығы 600 км болады. 4 аралық күш қосуға болады;

U (ultra) — 160 км пассивті аймақтан аралық күшейткішсіз тұратын аса ұзын желі. Бұл аймақтағы максимал сыну 44 дБ-ге жетеді;

Көрсетілген нұсқаларға сәйкес L, V және U пассивті аймақ ұзындығына сәйкес болады.

Оптикалық күшейткіштер көмегімен қосылу нұсқауларында ОТ энергия шығындары компенсацияланады. Алайда, оптикалық талшықтың ұзындығы шығындар шамасымен және таралу жылдамдығымен ғана шектелмейді, сонымен қатар хроматикалық дисперсияға да байланысты. Бұл шектеу хроматикалық дисперсия – арнайы компенсаторлар көмегімен компенсациялау жолымен жойылады. Хроматикалық дисперсияның компенсаторлары дискретті және ұзартылған болуы мүмкін. Дискретті компенсаторлардың негізін Брэгтің дифракциялық торлары құрайды, ал ұзартылған компенсаторлар дисперсиясы кері талшық қимасы түрінде болады.

DWDM оптикалық желілерінің жоғарыда келтірілген құрылымдарының иллюстрациясы ретінде 15.9–суретте NEC (Жапония) корпорациясының DWDM тарату жүйелері келтірілген, мұндағы:

OMUX — оптикалық мультиплексор;

BA — бустерлі оптикалық күшейткіш (BA — Booster Amplifier);

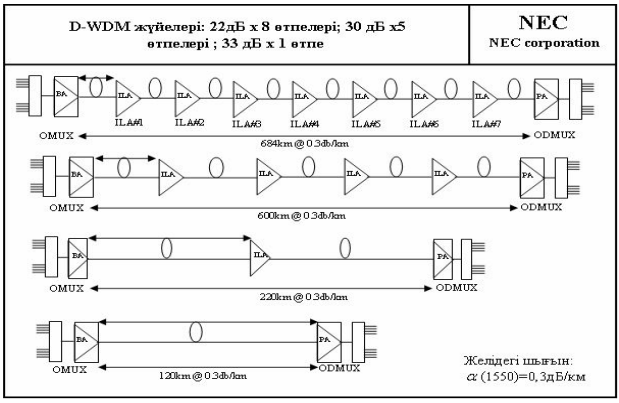
ILA – сызықтық аралық оптикалық күшейткіш;

ODMUX — оптикалық демультиплексор;

PA — алдын-ала оптикалық күшейткіш.

DWDM орташа және алыс байланыс жүйелері құрылуының басқа нұсқасын LUCENT TECHNOLOGIES [16] компаниясы көрсетеді, ол 15.18 – суретте келтірілген.

Жоғарыда WDM жүйелерінің 1530…1565 нм оптикалық толқын ұзындықтарының диапазондарында жұмыс істегендігі атап өтілген. Бұл диапазон эрбилік талшықты-оптикалық күшейткіштердің өткізу жолағымен сәйкес келеді. Эрбилік талшықты-оптикалық күшейткіштер көп толқындық тарату жүйелерінің негізгі компоненті болып табылады. G.692 ұсынысына сәйкес 100 ГГц жиіліктік интервалында бұл диапазонда 41 спектральды арна, ал 50 ГГц интервалында – сәйкесінше екі есе үлкен болады. Талшықты оптикалық күшейткіштерді дамытудағы интенсивті жұмыстар күшейту жолағы кеңейтілген күшейткіштерді қуруға мүмкіндік берді. Жұмыста өткізу жолағы 80 нм болатын күшейткіш жолағы қарастырылған. Осы фирма (NTT PHOTONICS LAB. NTT ELECTRONICS CORPORATION, Жапония) күшейтілетін толқын ұзындығының жолағы 113 нм рамандық талшықты-оптикалық күшейткішті жасап шығаруда. Күшейтетін толқын ұзындықтары жолағының осылайша кеңеюі бірқатар фирмаларға спектральды арналардың санын көп тарату жүйелерін ұсынуға мүмкіндік берді. Осылайша, ALCATEL, PIRELLI, LUCENT TECHNOLOGIES компаниялары арналар саны 128-ге тең DWDM жүйелерін ұсынады. Мәскеу қаласындағы семинарда LUCENT TECHNOLOGIES фирмасының өкілі жақын арада 256 арна үшін DWDM жүйесінің шығатынын айтты.



15.19 – сурет. DWDM тарату жүйесінің NEC корпорациясы нұсқалары

Осыған ұқсас құрылымдар туралы өзге де фирмалар жариялауда: CIENA (США, 96 арна), ECITELECOM (Израиль, 80 арна). Талшықты спектральды арналардың артуы DWDM жүйелерінің ақпараттық сыйымдылығын 1,2 Т бит/с дейін осы ағындарды бір оптикалық талшықпен тарату кезінде арттыруға мүмкіндік береді. Жоғарыда атап өтілгендей, DWDM тарату жүйесін құрушылар таралатын спектральды арналардың санын арттыру мақсатында 1530...1565 нм диапазонда жиіліктер торын тығыздауда жиіліктік интервалды 50 ГГц-ке дейін төмендету арқылы орындауға тырысады. Мұны негіздеу үшін DWDM желісін пайдалану хабарламасын келтірейік. ALCATEL компаниясы ұзындығы 500 км әрқайсысы 10Гбит/с болатын жиіліктік интервалы 50 ГГц 32 арнаны таратуға арналған байланыс желісін тәжірибеден өткізді. Желідегі дисперсиясы ығыспайтын оптикалық талшық пайдаланылады (NDSF). Желінің энергетикалық потенциалы 25 дБ құрайды.

Осыған ұқсас LUCENT TECHNOLOGIES (CORNING) компаниясы ұсынады. Бұл желіде LEAF талшығы қолданылады.

Сонымен бірге 40 Гбит/с жылдамдық үшін TDM жүйелерін көптолқынды WDM жүйелеріне енгізу бойынша жұмыстар жүргізілуде. Жапонияда әрқайсысының жылдамдығы 40 Гбит/с 30 спектральды арнаны 85 км-ге тарату жүзеге асты, яғни жүйенің ортақ ақпараттық сыйымдылығы 1,2 Тбит/с құрайды. 40 Гбит/с-тың 16 арнаны таратуға арналған трансокеандық жүйе ұсынылды (ALCATEL ұсынысы) . Бұл жүйелерде жиіліктік интервал 100 ГГц-ке тең.

WDM жүйесін құрудағы маңызды мезеттердің бірі телебақылау, басқару және қызметтік байланыс сигналдарын таратуға арналған арналарды ұйымдастыру мәселесі болып табылады. МЭС-Т (ITU-T) ұсынысына сәйкес мұндай жүйелер үшін осы сигналдарды тарату үшін бөлек спектральды арналарды қолдану шешілген. Бұл кезде толқын ұзындығы эрбилік ташықты-оптикалық күшейткіштердің өткізу жолағына енбеуі тиіс. Осы мақсатта екі толқын ұзындығының бірі 1510 немесе 1525 нм ұсынылады.

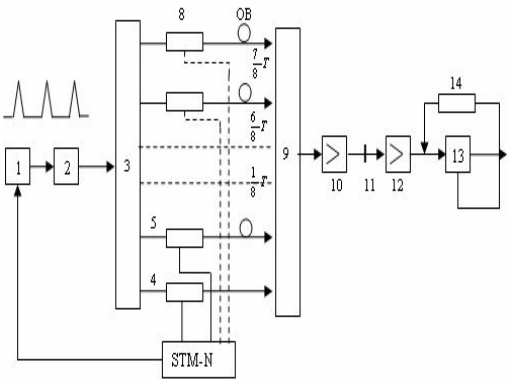
Қазіргі уақытта DWDM байланыс жүйесінің қондырғыларында 32 арнаға дейін таратуға есептелген бірқатар фирмалар (NEC, SIEMENS, т.б. фирмалар) 1510 нм толқын ұзындығын, ал екіншілері – 1625 нм (CIENA) қолданылды. Таралатын арналар санының 120 және одан көп артуымен оптикалық спектрдің бұдан да ұзын толқындық бөлігін қарастыру қажеттілігі туындайды, атап айтқанда 1625 нм толқын ұзындығы енетін L-диапазон (немесе ОТ 4 мөлдірлік терезесі). Бұл мақсатта L-диапазонда жұмыс істейтін талшықты-оптикалық күшейткіштерді құру бойынша жұмыстар жүргізілуде – бұл эрбилік талшық негізіндегі күшейткіштер, ол эрбий ионынан басқа тулии ионымен легирленген рамандық оптикалық күшейткіштер. Осы себептен қызметтік байланыс үшін DWDM жүйелерінде 1510 нм толқын пайдаланылады.

DWDM тарату жүйесін құру бірқатар активті элементтермен қатар пассивті квантты және оптикалық элементтер мен параметрлері тұрақты құрылғыларды қажет етеді. Мұнда сәулелену желісінің спектральды ені тар (0,05 нм аз) жартылай өткізгіш лазерлері (тұрақтылығы ±0,04 нм) кіреді. Бұл үшін осы тұрақтылықты қамтамасыз ететін электронды құрылғылар қажет. Талшықты оптикалық күшейткіштердің күшейту коэффициенті тұрақты, күшейту коэффициентінің біртексіздігі, тағы басқа сипаттамалары аз болуы керек ((<±0,5 дБ) барлық күшейту спектральды диапазонында). Пассивті элементтер ішінде ең маңызды бір мөлдірлік терезелерінде (1530...1565 нм) жұмыс істеу кезінде көп арналар саны үшін мультиплексорлар/демультиплексорлар қолданылады. Жиілік немесе толқын ұзындығы бойынша бұл элементтердің бұзылуы 0,05 нм аспауы тиіс. Мұндай тұрақтылық бұл элементтердің ±1°С температуралық стабилизациясымен қамтамасыз етіледі. Осының бәрі DWDM жүйелерінің құнын тез арттырады. Сонымен қатар бірқатар елдерде, әсіресе АҚШ, Канадада, Еуропа елдерінде, Ресейде (үлкен қалаларда трафиктерді және жем бағытын оперативті өзгерту мүмкіндігі бар) G.652 стандартты бірмодты талшық негізінде оптикалық кабельдер төселген. Адамдары жиі орналасқан аудандарда, үлкен ақпарат ағындарын ұйымдастыру қажеттігі туындайды. Бұл мәселе DWDM қарама-қарсы көп толқынды тығыздау

көмегімен шешіледі – CWDM деп аталады, АҚШ-та ұсынылған (CWDM — Coarse Wavelength Division Multiplexing). Мұндай жүйелерде арналар арасындағы интервал 20 нм тең. CWDM жүйелері тарату жылдамдығы 10 Гбит/с болатын көп арналарды таратуға арналған, Ethernet желісі SONET әсерлесу үшін (INTERNET терминіне қарағанда Ethernet термині IEEE802.3 стандартының синонимі және локальді кең жолақты желіге жатады) CWDM жүйелеріндегі арна аралық интервал үлкен болғандықтан, бір уақытта 2-ші және 3-ші мөлдірлік терезелерінде жұмыс істей алады. Оны пайдалану тиімді.

Оптикалық уақыттық тығыздау (OTDM). Жаңа байланыс қызметтері мен түрлерінің пайда болуы, дамуы тек қана жүйенің ақпараттық сыйымдылығын арттыруды ғана емес, сонымен бірге тарату жылдамдығын арттыруды талап етеді. Жиіліктік және көптолқындық арнаны тығыздау түрлерін қолдану таралатын ақпарат көлемін арттыруға мүмкіндік береді. Бірақ ақпараттың көлемі, ақпараттық сыйымдылық және ақпаратты тарату жылдамдығы бірдей емес. Тез өтетін процестерде ақпаратты тарату үшін тарату жылдамдығына жоғарғы желілер қажет. Уақыт өткен сайын осындай жүйелерге қажеттілік жоғарылайды. Осылайша цифрлық түрдегі бір телефон хабарын таратуға 64 Кбит/с жеткілікті болса, бір теледидар арнасын жоғары дәлдікпен тарату жылдамдығы 994,3 Мбит/с (тығыздалғанда 135 Мбит/с). Бұл уақыттық тығыздалатын жүйелерді құруды талап етеді. Көптеген зерттеулер электронды уақыттық тығыздау (ETDM) жүйелерінде тарату жылдамдығын 40 Гбит/с жеткізді. Сондықтан оптикалық уақытты тығыздау (OTDM — Optical Time Division Multiplexing) әдісін құруда қажеттілік туындады. Осы әдісті жүзеге асыру үшін 3.6.-суретте схема көрсетілген. Модтар синхронизациясы бар лазер (1) мультиплексорланатын электрондық SDH — STM-N жүйелерінің эталонды таймерлерінен синхрондалады. Ұзақтылығы т оптикалық импульстердің ағыны және периоды Т оптикалық күшейткіштен (2) өтіп, оптикалық тармақтағышқа (3) келіп түседі, ол жарық ағынын (8) бірдей бөлікке бөледі, олардың әрқайсысы оптикалық модуляторға (4-8) түседі. Әрбір модулятордың шығысында сәулелену оптикалық кідіріс желісінің рөлін атқаратын оптикалық талшықтардың қималарынан сәйкесінше өтеді. (4) модулятордың 1-ші шығысындағы кідіріс уақыты өте аз болады, тіпті нөлге тең болады, ал 2-ші тобынан (5 модулятор) оптикалық импульстер 1/8 Т-ға іркіледі және т.с. с. Ал (8) модулятордан кейін 7/8 Т уақытта кідіреді. Содан кейін барлық модуляторлардың шығысынан ағындар сумматорға (9) түседі. Шығындарды жою үшін желіге аралық оптикалық (11) күшейткіш қосылуы мүмкін. Желінің шығысында оптикалық топтық сигнал (12) күшейткішпен күшейеді де оптикалық уақыттылық демультиплексорға (13) келіп түседі және (14) құрылғы көмегімен синхрондалады. Осылайша

(OTDM) әдісінде әрқайсысы 10 Гбит/с 8 цифрлық ақпараттық ағын таралады.



15.20 – сурет. OTDM әдісін құрастыру схемасы

Жүйе 1530....1560 нм диапазонында оптикалық талшықпен таратуға арналған. Жүйеде толық оптикалық элементтер қолданылған – лазер, оптикалық тармақтағыш, $LiNbO_3$ электроптикалық кристалынан жасалған модуляторлар, оптикалық күшейткіштер және оптикалық кідіріс желілері.

Қазіргі кезде OTDM жүйелерін дамыту және элементтік қор құру бойынша жұмыстар жасалуда. Соның ішінде 80 Гбит/с жылдамдықта 168 км қашықтыққа ақпаратты тарататын OTDM жүйесі енеді. Ол $+50^0$С қоршаған орта температурасында дұрыс жұмыс істей алады.

Арналарды полярлығы бойынша тығыздау әдістері. Қолданылатын байланыс желісінде, мысалы 480 телефон арнасын тарататын (Е3 ПЦИ деңгейі) желіде тағы да қосымша 30 немесе 60 арнаны (Е1 екі цифрлық ағыны) тарату қажеттігі туындайды. Бұл мәселені бірнеше әдістермен шешуге болады:

1. Жаңа оптикалық кабельдерді тарту (немесе пайдаланылатын ОК j резервті талшық жұбын пайдалану) және оптикалық таратушы – қабылдаушы модульдерін қосқанда жаңа қондырғыны орнату.

2. Деңгейі жоғары (Е;) жаңа қондырғыны және қабылдау жағында демультиплексор орнату.

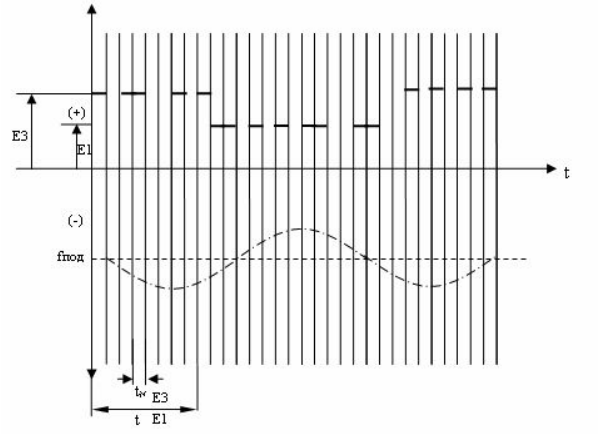
3. Оптикалық байланысқа қатысты полярлығы бойынша тасушыны модуляциялау әдісі.

Полярлығы бойынша модуляциялау әдісі бұрыннан белгілі және радиобайланыста стереофондық радиохабарлар тарату үшін

қолданылады. Оның мәні мынадай тасушылық оң полярлығы бір сигналмен, ал кері полярлығы басқамен модуляцияланады. Ортақ амплитудалық модуляция секілді, $f_{\text{мод}}$ модуляция жиілігі және f_{mac} тасушы жиілігі келесі қатынаста болады: $f_{mac} \geq 10 f_{\text{мод}}$.

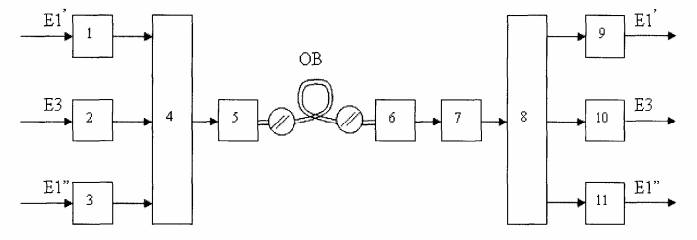
Біздің жағдайда тасушы ретінде оптикалық тасушы модуляцияланатын цифрлық сигналдың цифрлық тізбегі ретінде қолданылады. ТОБЖ ПЦИ жүйелерінде сызықты код ретінде (2,048 Мбит/с; 8,8 Мбит/с; 34 Мбит/с и 140 Мбит/с) СМ1 және 5В6В түріндегі кодтар қолданылады. Оның спектрінде тұрақты құраушы болмайды.

Осы жағдайды ескеріп, электрлік трактта мұндай сигнал белгілі коэффициентпен оң полярлықты бір сигналмен, терісті – оған тәуелсіз келесі сигналмен модуляциялайды. Осы ағынның оң полярлығы амплитудасы бойынша цифрлық сигналмен модуляцияланады, мысалы ПЦИ Е1 деңгейіне сәйкес. Оның тактілік интервалы 2tE1, ал теріс полярлығы – жиілігі $f_{\text{нес}} \geq 10 f_{\text{такт}}$ болатын аналогті сигнал. (3) тәуелсіз ақпараттық ағынды тартуға олар - Е3 (Е4) және екі Е1 немесе Е3 (Е4), Е1 және бір аналогті сигнал немесе Е3 (Е4) және екі аналогті сигнал. 15.19–суретте бұл әдіс құрылғысының құрылымдық схемасы келтірілген, мұндағы: (1) және (3) – Е1 сигналының полярлығы бойынша модулятормен сәйкестену схемасы (4); 2-модулятормен сәйкестену үшін тасушы деңгейін реттеу схемасы. Модулятордың (4) шығысында 15.18 – суретте көрсетілген сигнал пайда болады.



15.21 – сурет. Полярлығы бойынша тығыздалудың топтық сигналы

15.21 – суретте Е3 ағын тасушысының екі полярлығы да екі тәуелсіз ағындармен модуляцияланған – оң полярлық-аналогті сигналмен, теріс- Е1 цифрлық сигналымен. Осы топтың электрлік сигналы модулятордың (4) шығысынан қанығу схемасына қосылған, оның шығысына сәулелендіргіш жартылай өткізгіш лазер немесе жарық сәулелендіргіш диод орнатылған. Қабылдау жағында фотодетектордан (6) кейін, кең жолақты күшейткіштен (7) кейін сигнал диод (8) кірісіне түсіп, ол (3) бөлікке бөлінеді, оның бірі оң полярлы АМ-детекторға, ал екіншісі – теріс полярлы АМ-детекторға түседі.



15.22 – сурет. Полярлығы бойынша ТОБЖ-ның құрылымдық схемасы

Сәйкес фильтрациядан кейін сигнал 9-схемаға түседі, ал екіншісі – 11-схемаға түседі. Е'1 және Е"1 сигналдарының параметрлері реттелгеннен кейін екі жақты шектеулі сүзгі арқылы өтеді, содан соң 10-схемаға түседі. Бұл схеманың мақсаты 9 және 11 – схемаларға ұқсас. Осылайша, қарапайым электронды құрылғының – (1,2,3) және (4) схемалары таратушы оптикалық модульден (5) тұрады, бір лазер және бір талшықты пайдалана отырып негізгі Е3 ағынынан басқа тағы да екі тәуелсіз Е1 ағынын таратуға болады. Қабылдау жағында кері операция орындалады, мұнда бір фотодетектордың жүктемесінде топтың ағыны белгіленеді, содан кейін ол қарапайым құрылғы көмегімен Е3 және екі Е1 ағынына бөлінеді. Есептеулер бойынша, 50 % модуляция тереңдігінде және полярлы модуляцияны қолдану арқылы Е1 цифрлық ағынды тарату кезінде тасушының бір полярлығында оптикалық желінің энергетикалық потенциалы тек бір Е1 ағынын таратқан жағдаймен салыстырғанда 13 дБ төмендейді. Е1 тарату үшін оптикалық жүйенің энергетикалық потенциалы 50дБ екенін ескерсек, онда қалған 37 дБ потенциалы көп жағдайларда локальді желілерде байланысты ұйымдастыру үшін жеткілікті болады. Атап өтетін жайт, тасушы сигнал ретінде Е3 немесе Е4 цифрлық сигналын қабылдау міндетті емес, аналогті сигналды да қабылдауға болады, мысалы ЖМ модуляцияланған ТД немесе радиохабарлау

синусойдалды тасушысын алуға болады. Оптикалық арнаны тығыздаудың сипатталған әдісі тәжірибеден өтті және оның нәтижесі оны локальды желілерде қолдануға болатынын дәлелдеді.

Бақылау сұрақтары:

1) Оптикалық өту жүйесі қандай негізгі сипаттамаға ие?

2) Қандай ақпараттық ағын оптикалық өту жүйесінде берілуі мүмкін?

3) Абоненттік өтудің әртүрлі архитектурасын құрастырыңыз.

4) Талшықты-коаксиалды желіде қандай желі ағынның үйлесімі қазіргі кезде қандай орын алады?

5) Оптикалық жүйеге өту кезінде ақпарат тарату альтернативасы қандай?

ҚОРЫТЫНДЫ

Қорыта келгенде, талшықты – оптикалық беру жүйесі электрлік беру жүйесіндей аппаратқа ие болады. Орнына түрлендіру сигналдары, шығыс каналдарының жиілігі немесе уақыттарының тығыз болуы, керекті беріліс оптикалық сигналдарын беріліс жүйесіне түрлендіруге мәжбүр етіп, құрылымдық схема берілісінде жаңа блоктар құрылғылары пайда болады.

Құрылғы шығыс кодты түрлендіретін жағдай береді, қабылдауында синхронды тактілі және қателерді табуды қамтамасыз етеді. Оптикалық құрылғы берілісі электрлік сигналдардан оптикалыққа ауысымды қамтамасыз етеді.

Жоғарыда аталған қызметтер мен технологияларды абоненттердің көп саны үшін жүзеге асыру мақсатында қазіргі кезде көптеген елдерде жоғары жылдамдықты талшықты – оптикалық тарату жүйелері құрылып қолданылуда. Талшықты–оптикалық технологиялар негізінде барлық деңгейдегі ТОБЖ құрылады. Олар: объектілік, қалалық, аймақтық және магистральді.

Олардың цифрлық ақпаратты тарату жылдамдығы, сәйкесінше: 2,048Мбит/с, 8,448 Мбит/с, 34 Мбит/с (плезиохронды цифрлық иерархия ПЦИ жүйелері және асинхронды транспорттық модульдер).

Сонымен қатар, синхронды транспорттық модульдер СТМ (STM) цифрлық ақпарат жүйесінің (ЦАЖ) негізін мынадай жылдамдықтарда құрады: 155 Мбит/с (STM – 1), 622 Мбит/с (STM – 4), 2,5 Гбит/с (STM – 16) және 10 Гбит/с (STM – 64). Жылдамдығы 40 Гбит/с (STM – 256) болатын ТОБЖ жүйесі құрылып, пайдалануға жіберіледі.

Цифрлық ақпаратты тарату жүйесіне (ЦАЖ) арналған ТОБЖ – ны құрумен қатар, ақпаратты аналогті түрде тарату жүйелері құрылуда. Бұл, ең алдымен, кабельді теледидар жүйелеріне (КТЖ) қатысты. Сонымен қатар, қазіргі кезде анықтылығы жоғары цифрлық теледидарды тарату үшін талшықты–оптикалық жүйелер шығарылуда.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. *Бутусов М.М., Верник С.М.* и *др*. Волоконно-оптические системы передачи. Москва: Радио и Связь, 1992 г.

2. Техническая документация Alcatel. Alcatel 1651 SM. 1995 г.

3. Техническая документация Alcatel. Alcatel 1654 SL. 1995 г.

4. *Берганов И.Р., Гордиенко В.Н., Крухмалев В.В.* Проектирование и техническая эксплуатация систем передачи. Москва: Радио и Связь, 1989 г.

5. Аппаратура сетей связи. Справочник. Под редакцией *М.И. Шляхтера.* Москва: Связь, 1980 г.

6. *Гроднев И.И., Верник С.М.* Линии связи. Москва: Радио и Связь, 1988 г.

7. *И.И. Гроднев*. Волоконно-оптические линии связи. Москва: Радио и Связь, 1990 г.

8. Система передачи К-3600. Оборудование линий передачи. Москва: Радио и Связь, 1986 г.

9. Автоматическая междугородная и сельская телефонная связь. Под редакцией Е.А. Зайончковского. Москва: Связь, 1976 г.

10.*Фарбер Ю.Д., Шардина С.Ю.* Системы передачи с частотным разделением каналов. Москва: Связь, 1979 г.

11. *Васильев В.И., Буркин А.П.,. Свириденко В.А*. Системы связи. Москва: Высшая школа, 1987 г.

12.Многоканальные системы передачи. Методическое указание к выполнению самостоятельных работ. Составитель Кусен К.Е. Алматы, 2005 г.

13.Оптические системы передачи. Под ред. В.И. Иванова. М: Радио и связь, 1994.

14.*Убайдуллаев Р.Р.* Волоконно-оптические сети М: Эко-трендз, 1998.

15. *Семенов А.Б.* Волоконная оптика в локальных и корпоративных сетях М: КомпьютерПресс, 1998.

16. *Иванов А.Б.* Волоконная оптика: компоненты, системы передач, измерения. – М: Компания Сайрус Систем, 1999.

17. *Бакланов И.Г.* Методы измерений в системах связи. М: Эко-трендз, 1999.

18. Оптоэлектронные элементы и устройства. Под редакцией Ю.В.Гуляева – М: Радио и связь, 1998.

19. *Гитин В.Я.* Волоконно-оптические системы передачи – С-Петербург, ДМК Пресс, 2001.

20. Оптические системы передачи. Под ред. В.И. Иванова. М: Радио и связь, 1994.

21. *Андрушко Л.М.* и *др*. Волоконно-оптические линии связи: Учебн. Пособие М: Радио и связь, 1984.

МАЗМҰНЫ

КІРІСПЕ 3
1 ТАЛШЫҚТЫ-ОПТИКАЛЫҚ БЕРУ ЖҮЙЕСІ 5
1.1 Талшықты-оптикалық беру жүйесінің қасиеттері..... 5
1.2 Талшықты-оптикалық беру жүйесіндегі техника-экономикалық эффектілердің қолданылуы..... 6
2 ТАЛШЫҚТЫ-ОПТИКАЛЫҚ БЕРУ ЖҮЙЕСІНІҢ ҚҰРЫЛУЫ 8
2.1 Талшықты–оптикалық беру жүйесінің құрылымдық схемасы..... 8
2.2 Талшықты-оптикалық беру жүйесінің классификациясы... 8
2.3 Талшықты –оптикалық беру жүйесінің тығыздалу әдісі 9
3 ОПТИКАЛЫҚ КАБЕЛЬДЕРДІҢ ҚОЛДАНЫЛУЫ 11
3.1 Негізгі талшықты – оптикалық беру жүйесіндегі параметрлердің түрлері 11
4 ДИСПЕРСИЯ КӨЛЕМІ..... 13
5 ТАЛШЫҚТЫ – ОПТИКАЛЫҚ БЕРУ ЖҮЙЕСІНІҢ ЭЛЕМЕНТТІК БАЗАСЫ..... 15
5.1 Оптикалық сүзгілер..... 15
5.2 Оптикалық жалғаушылар 18
6 ТОЛҚЫНДЫҚ КОНВЕНТОРЛАР..... 20
7 ОПТИКАЛЫҚ ОҚШАУЛАҒЫШТАР..... 21
8 СӘУЛЕ ШЫҒАРУ КӨЗІ. СӘУЛЕДИОДТАР ЖӘНЕ ЖАРТЫЛАЙ ӨТКІЗГІШТІ ЛАЗЕРЛЕР 22
8.1 Лазерлік диодтар..... 24
9 СӘУЛЕ ШЫҒАРУ ҚАБЫЛДАҒЫШТАРЫ. ФОТОДИОДТАР 26
9.2 Фотоқабылдағыштың типтік сипаттамасы 29
10. ЖІБЕРУ ЖӘНЕ ҚАБЫЛДАУ ОПТИКАЛЫҚ МОДУЛЬДЕРІ 30
11. ТОБЖ-НЫҢ СЫЗЫҚТЫҚ ТРАКТІСІ. РЕГЕНЕРАТОР 32
11.1 Оптикалық сигналдардың регенераторы 33
12. КВАНТТЫҚ ОПТИКАЛЫҚ КҮШЕЙТКІШТЕР 35
13 САНДЫҚ ТОБЖ-НЫҢ СЫЗЫҚТЫҚ КОДТАРЫ..... 41
14. РЕГЕНЕРАТОРДЫҢ БӨГЕТКЕ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫ..... 47
15. САНДЫҚ ТАЛШЫҚТЫ–ОПТИКАЛЫҚ БЕРУ ЖҮЙЕЛЕРІ 50
15.1 Оптикалық желі 55

15.2 Оптикалық желінің архитектурасы.
Негізгі құрылымдар..... 55
15.3 Оптикалық желідегі спектрлік тығыздау 59
15.4 Спектрлік тығыздаудың принципі және блок схемасы ... 60
15.5 Абоненттік өтудің оптикалық желісі 61
ҚОРЫТЫНДЫ..... 93
ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ..... 94

Оқулық басылым

Күсен Кенжеш Есіркепқызы

Талшықты – оптикалық беру жүйесі

Оқу құралы

РБ меңгерушісі *З.А.Ғубайдулина*
Редактор *А.М. Балхашева*
Техн. редактор *Ж.Н. Байменова*
Компьютерде басып, терген *А.Н. Оразалиева*

Басуға 05. 05. 2008 ж. қол қойылды

Пішімі 60х84/16. №1 баспаханалық қағаз.
Шартты б.т. 6,0. Есепті б.т. 6,1. Таралымы 500 дана.
Тапсырыс № 150. Бағасы келісімді.

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық
университетінің басылымы
ҚазҰТУ–дың Ғылыми-техникалық баспа орталығы
Алматы, Ладыгин көшесі, 32