**ЛЕКЦИЯ 2. ОПТИКАЛЫҚ БАЙЛАНЫС ЖОЛДАРЫ: НЕГІЗГІ ЕРЕЖЕЛЕР**

**2.1. Талшықты-оптикалық байланыс жүйесінің моделі**



2.1-сурет. Талшықты-оптикалықбайланысжелісініңүлгісі:

*1*– электрсигналдарыныңкөзі; 2 - кодтаушыжәнемодулятор;*3*– оптикалықсәулеленукөзі; 4 - талшықтыжарықбағыттағышы; 5 – фотодетектор;*6*– алдыналакүшейткіш; 7 – төменжиіліктісүзгі;*8*– сигналдыөңдеуқұрылғысы

Әрбірталшықты-оптикалықбайланысжүйесініңнегізгіэлементтері:

* оптикалықтаратқышқондырғы, ондаэлектрліксигналдар,жүйеніңкірісіндеқабылданғаноптикалықимпульстарғатүрленеді, соданкейінжарықбағыттаушысызығынаберіледі;
* талшықты-оптикалықжелі;
* оптикалықсигналдардықабылдайтынжәнеолардыдекодтауменкүшейтуденкейінбайланысжүйесініңшығысынакелетінэлектрлікимпульстарғатүрлендіретіноптикалыққабылдағышқондырғы.

Оптикалықтаратқышблогындажарықкөзіжәнемодуляторыбароптикалықбастауыбар. Сыртқыкөзденкелетінэлектрліксигналдаржарықдиодтынемеселазерлікдиодтыңсәулеленуінмодуляциялайды. Жарықимпульстеріталшықты-оптикалықжелігеенгізіледі, оныңбойыменберіледі, алоныңшығысы оптикалыққабылдағышқаенгізіледі.Қабылдағыштағыфотодетектороғантүсетінжарықсәулесінэлектрсигналдарынаайналдырады. Фотодетекторданбасқа, оптикалыққабылдағышблогындадемодуляторменкүшейткішбар. Жарық-субайланысжүйесініңшығуынажүйегеенгізілгенсигналғаұқсасэлектрсигналдарыкеліптүседі.

Жалғызжарықбағыттағышынбіржәнеекібағыттабірарналыжәнекөпарналыбайланысүшінпайдалануғаболады. Көпарналыбайланыстаберілетінақпараттықысужиіқолданылады.

Көпарналыжарықбағыттағышбайланысжүйелерікөбінесекелесіарналардымультиплекстеуәдістерінқолданаотырыпқұрастырылады:

электрліксигналдардыоптикалықсигналғатүрлендіруалдындамультиплекстеу;

 оптикалық сигналдарды мультиплекстеу.

**2.1.1 Уақытты мультиплекстеу**



2.2-сурет.

Aкіру және Bкіру кірістерінде импульстердің екі сериясы (A1, A2, ... және B1, B2, ...) қабылданады, олар 1-мультиплексор көмегімен оптикалық таратқышқа ауысудың берілген тізбегі арқылы 2-ге енгізіледі. 2-ші таратқыш блогында бір толқын ұзындығы λ0 кезінде енгізілген электрлік импульстарға сәйкес оптикалық сигнал модуляторы бар. Желі арқылы жіберілетін сәулелену фотодетектор 3 құрамындағы фотодетектор арқылы электрлік сигналдарға түрлендіріледі, олар фотодетектор блогында орналасқан демультиплексор 4 арқылы импульстардың екі сериясына (A1, A2, ... және B1, B2, ...), сәйкесінше, Aшығу және Bшығушығыстарына келеді.

**2.1.2. Оптикалық жиілікті мультиплекстеу**



2.3-сурет.

1-таратқыш блогында екі арналы байланыс кезінде екі сәулелену көзі болуы керек (n-арналы байланыс кезінде n көз). Aкіру және Вкіру кірістеріне келетін А1, А2,… және В1, В2, … электр сигналдары λ1 және λ2 сәулелену көздерін қамтитын 1 таратқыш блогында оптикалық импульстарға түрленеді. А1, А2, ... сигналдарын кодтайтын импульстер жарық бағыттаушы сызық бойымен λ1 арқылы, ал В1, В2, ... - λ2 арқылы беріледі. 2-фотодетекторда сызық бойымен жіберілген жарықты екі монохроматикалық сәулеге λ1 және λ2 бөлетін демультиплексор, сондай-ақ біреуі λ1, ал екіншісінде λ2 бар жарық сәулелерін тіркейтін екі фотодетектор бар. Фотодетекторлар арқылы оптикалық сигналдарды электрлік сигналдарға түрлендіруден кейін Aшығу шығысына тек А1, А2, ... импульстері, ал Bшығушығысына В1, В2, ... импульстері жіберіледі.

**2.1.3. Оптикалық сигналдарды бір оптикалық талшық арқылы екі бағытта әртүрлі тасымалдаушы жиіліктерде берудің дуплексті жүйесі**



2.4-сурет.

Жүйе бұрынғыға ұқсас жұмыс істейді. 1, 2 оптикалық таратқыштар, 1а, 2а-фотоқабылдағыштар. Екі толқын ұзындығы λ1 және λ2 болатын сәуле қолданылады.

**2.2 Талшықты-оптикалық сигнал беру үшін қолданылатын толқын ұзындығының диапазоны**

Жұмыс жиіліктерінің диапазоны 2.5-суретте көрсетілген.



2.5-сурет

Толқын ұзындығына байланысты оптикалық талшықтың өшулігі 2.6-суретте көрсетілген.



2.6-сурет.

2.6-суретте үш мөлдірлік терезесі бөлектелген:

1. 820 - 900 нм

2. 1280 - 1350 нм

3. 1528 - 1562 нм

Соңғы терезені 1620 нм дейін ұзартуға болады, бұл аймақ әдетте төртінші мөлдірлік терезесі деп аталады.

**2.3. Байланыс желісінің өткізу қабілеттілігін арттыру**

Бүгінгі күні талшықты-оптикалық тарату жүйелерінің (ТОТЖ) өткізу қабілетін арттыру үшін келесі технологиялар қолданылады:

* TDM (Time Division Multiplexing) – уақытша мультиплекстеу әдісі;
* FDM (Frequency Division Multiplexing) – жиілікті бөлуді мультиплекстеу әдісі;
* MDM (Mode Division Multiplexing) – модальды тығыздау;
* PDM (Polarization Division Multiplexing) – поляризациянымультиплекстеу; Полярлықбойыншаарналардынығыздауәдісі;
* WDM (Wavelength Division Multiplexing) – оптикалықтасымалдаушылардыңкөптолқынұзындығынмультиплексирлеуі
	+ CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing) – «дөрекі» жүйелердіспектрліктығыздау;
	+ қарапайым WDM;
	+ DWDM (Tense Wavelength Division Multiplexing) – тығыз жүйелерді

спектрліктығыздау;

* + HDWDM (жоғары тығыз толқын ұзындығын бөліп мультиплекстеу) - ультра тығыз спектрлік мультиплекстеу жүйелері
	+ OTDM (Optical Time Division Multiplexing) – уақытты мультиплекстеу

Осытехнологиялардытолығыраққарастырайық.

*TDM*- біржоғарыжылдамдықтыбайланысарнасыарқылыоданәріжіберуүшінбірнешетөменжылдамдықтыжелілерарқылыалынғанақпараттыбіріктірутехнологиясы. Тығыздауәрбіржолғаөзуақытаралығынбөлуарқылыжүзегеасырылады.

*FDM*- мультиплекстеутехнологиясы, ондаәрбірақпаратағынысәйкесжиіліктефизикалықарнадақосалқытасымалдаушыарқылыберіледі. Егероптикалықтасымалдаушыфизикалықарнаретіндеәрекететсе, ондаолинтенсивтілігібойыншатоптықақпараттықсигналарқылымодуляцияланады, оныңспектріішкітасымалдаушыжиіліктердіңбірқатарынантұрады, олардыңсанықұрамдасақпаратағындарыныңсанынатең.

*МDМ*– геометриялықоптикабойынша, егеркөпмодалыталшықтыңшығысұшында$φ$1<$φ$крбұрышындаоптикалықсәулетүссе, ондаталшыққаосыұшыарқылыеніп, олүшінқатаңбелгіленгентраекториябойыншаосыталшықбойыментаралаотырып, шығысында бірдей$φ$1бұрышындашығады. Бұлталшыққаенгізілгенсәулелердіңқалғанбөлігінедеқатысты ($φ$*к*, $φ$*к*<$φ$кр) . Талшықтыңкірісіменшығысындағымодалықселекторларынпайдаланаотырып, бұлжағдайдаарналаррөлінатқаратынсәйкесрежимдербойыншатәуелсізақпараттықағындардыберугеболады.

*PDM*– сызықтықполяризациясыбароптикалықтасымалдаушылардыңкөмегіменақпараттықағындардымультиплекстеу. Бұлжағдайдаәрбіртасымалдаушыныңполяризацияжазықтығыөзбұрышындаорналасуыкерек.

 *Полярлықты модуляциялау әдісі* – тасымалдаушының оң бөлігі (полярлығы) бір сигналмен, ал теріс бөлігі басқасымен модуляцияланады. Мұндай сигнал оптикалық байланыс желісіне енгізілетін оптикалық сәулеленуді модуляциялайды.

 *OTDM*-толық оптикалық жүйелерді құру тұжырымдамасына сәйкес жасалған. Жүйеде толық оптикалық элементтер қолданылады – лазер, оптикалық модуляторлар, сплиттер, LiNbO3 электрооптикалық кристалдар негізінде жасалған модуляторлар, оптикалық күшейткіштер және оптикалық кідіріс сызықтары.

**2.4. WDM заманауи технологиялары**

 WDM технологиясы 1958 жылы жасалған, бірақ соңғы он жыл ішінде белсенді дамып келеді. WDM-де тасымалдаушылар жеке көздер (лазерлер) арқылы жасалады, содан кейін бұл тасымалдаушылар сыртқы ақпараттық сигналдармен модуляцияланады, олар оптикалық мультиплексормен оптикалық талшыққа берілетін бірыңғай көп жиілікті сигналға біріктірілген Жарық ағындарын құрайды.

**2.4.1 стандартты жиілік жоспары**

Бастапқыда стандарт Δст = 4.1 TГц (192.10 – 196.10 TГц) стандартталған диапазонында 41 арнаны орналастыруға мүмкіндік беретін (1528.77 нм-ден 1560.61 нм-ге дейін, λ = c/f [нм/Гц], λ = 0.78...0.80 нмқадам бойынша). Содан кейін стандарт нақтыланды және қадам 50 ГГц-ке дейін азайтылды, бұл максималды 81 арнаны орналастыруға мүмкіндік берді.

Δст барлық стандартты диапазоны екі ішкі диапазонға бөлінді:

S-Short Band-қысқа толқындар,

L-Long Band - ұзын толқындар.

 Бір немесе басқа диапазонды таңдауда қол жеткізуге болатын АВХ біркелкі емес. Мысалы, EDFA типті оптикалық күшейткіш үшін L қосалқы диапазонына артықшылық беріледі.

 Тасымалдаушылардың стандартты қадамын 25 ГГц-ке дейін (~0.2 нм қадамымен 161 тасымалдаушы) және тіпті 12.5 ГГц-ке дейін (~0.1 нм қадамымен 321 тасымалдаушы) одан әрі азайту ұсынылды.

**2.4.2.Кеңейтілген жиілік жоспары**



2.7-сурет.

DWDM жүйелерінің арналарының санын кеңейтуге стандартты Δст диапазонын оңға қарай, бастапқы қолданылғаннан 1612,65 нм дейін кеңейтуге негізделген, бұл Δст жоғарылатуға мүмкіндік беретін төртіншімөлдірліктерезесін (~1600 нм) пайдалануарқылы 10,2 ТГц (84 нм) кеңейтілген жолмен қол жеткізуге болады.

Қолданылатынжиілікжолағыноданәрікеңейту 1270 - 1610 нм (340 нм) барлыққолжетімдіжолақтыпайдалануүшінбесіншімөлдірліктерезесідепаталатынаймақта 196,1 ТГцғанамүмкінболады.

**2.4.3WDM жүйелерінің классификациясы**

Босатылған WDM – CWDM – толқынұзындығықадамы 20 нм, 1270 – 1610 нмжолағындажұмысістейтінжүйелер.

Кәдімгі WDM – 200 ГГц-денастамтасымалдаушыжиілікаралығыбар, 16 арнаданкөпемесмультиплексирлеугемүмкіндікберетін WDM жүйелері.

Тығыз WDM - DWDM - тасымалдаушыжиілікаралығы 200-ден 50 ГГц-кедейінгіжүйелер.

Жоғарытығыздықты WDM - HDWDM - жиілікқадамы 50 ГГц-тентөмен (25 және 12,5 ГГц) жүйелер.

**2.5. Тест сұрақтары**

1. ТОТЖнегізгіэлементтердіатаңыз. Олардыңфункцияларықандай?

2. Арналардытығыздаудыңқандайәдістеріқолданылады?

3. ТОТЖқандайжиілікдиапазонындажұмысістейді? "Ашықтықтерезесі"дегенімізне?

4. 1383 нмдиапазонындаталшықтағыжарықтыңсөнуіненесебепболады?

5. ТОБЖөткізуқабілетінарттырудыңқандайтәсілдерібар?

6. Полярлықтымодуляциялауәдісіқандай?

7. "Стандарттыжиілікжоспары" дегенімізне?

8. "Кеңейтілгенжиілікжоспары" дегенімізне?

9. Бесіншімөлдірліктерезесіқайдиапазондажатыр?

10. WDM жүйелерініңқандайтүрлерібар?