**ЛЕКЦИЯ 7. ОПТИКАЛЫҚ ТАЛШЫҚ ЖӘНЕ ОПТИКАЛЫҚ ТАЛШЫҚТЫ БЕРУ ПАРАМЕТРЛЕРІ**

**7.1. Оптикалық талшықтардың түрлері**

Оптикалық талшықтар әртүрлі тәсілдермен өндіріледі, әртүрлі толқын ұзындығында оптикалық сәулеленуді өткізеді, әртүрлі сипаттамаларға ие және әртүрлі тапсырмаларды орындайды. Барлық оптикалық талшықтар екі негізгі топқа бөлінеді: көп модалы MMF (multi mode fiber) және бір модалы SMF (single modefiber).

Көпмодалы талшықтарсатылы (step index multimodefiber) және градиенттік (gradedindexmultimode fiber) болып бөлінеді.

Бір модалы талшықтар: сатылы бірмодалы талшықтар (step index single mode fiber) немесе стандартты талшықтар SF (standardfiber), ығысқан дисперсиялық DSF (dispersion-shifted single modefiber) талшықтар және нөлдік емес ығысқан дисперсиялы талшықтар NZDSF (non-zerodispersion-shifted single mode fiber).

Талшықтардың түрлері мен өлшемдері 8.1. суретте көрсетілген. Әрбір талшық өзектен және әртүрлі сыну көрсеткіштері бар қаптамадан тұрады. Жарық сигналы таралатын өзек оптикалық тығызырақ материалдан жасалған. Талшықты белгілеу кезінде өзек пен қаптаманың диаметрлерінің мәндері бөлшек арқылы көрсетіледі. Талшықтар өзек және қаптама диаметрлері, сондай-ақ өзек сыну көрсеткішінің профилі бойынша ерекшеленеді. Көпмодалы талшық және бір модалы дисперсиялық ығысқан талшық үшін ядроның сыну көрсеткіші радиусқа байланысты. Бұл күрделірек профиль өнімділікті жақсарту немесе талшықтардың ерекше сипаттамаларына қол жеткізу үшін жасалған.

Егер көпмодалы талшықтарды бір-бірімен салыстыратын болсақ (8.1 а, б-сурет), онда дисперсиясы бойынша градиентті талшық сатылы талшыққа қарағанда жақсы техникалық сипаттамаларға ие. Бұл негізінен дисперсияның негізгі көзі болып табылатын сұрыпталған көпмодалы талшықтағы интермода дисперсиясының сатылы көпмодты талшыққа қарағанда әлдеқайда аз болуымен түсіндіріледі, бұл сұрыпталған талшық үшін өткізу қабілеттілігінің жоғары болуына әкеледі.

Бір модалық талшық көпмодалыға қарағанда өзек диаметрінен едәуір аз және нәтижесінде модааралық дисперсияның болмауына байланысты жоғары өткізу қабілеті бар. Алайда, ол қымбат лазерлік таратқыштарды қолдануды қажет етеді.



8.1-сурет. Оптикалық талшықтардың түрлері

ТОБЖ-да келесі талшық стандарттары кеңінен қолданылады (8.1-кесте):

* көпмодалы градиент талшығы 50/125 (8.1 а-сурет);
* көпмодалы градиентті талшық 62,5 / 125 (8.1 б-сурет);
* бір модалы сатылы талшық SF (дисперсиялық ығысқан талшық немесе стандартты талшық) 8 - 10/125 (8.1 в-сурет);
* бір модалы дисперсиялық ығысқан талшық DSF 8 - 10/125 (8.1 г-сурет);
* нөлдік емес дисперсиялық ығысқан бірмодалы талшық NZDSF (бұл талшықтың сыну көрсеткіші профилі алдыңғы түрге ұқсас талшықтар).

8.2–кестеде OК типтік сипаттамаларын көрсетеді.

8.1-кесте

Талшықты оптикалық стандарттар және олардың қолданылуы

|  |  |
| --- | --- |
| Көпмодалы талшық | Бірмодалы талшық |
| MMF50/125Градиетті талшық | MMF62,5/125Градиетті талшық | SF(NDSF)Сатылы талшық | DSFЫғыстырылғандисперсиясыбарталшық | NZDSFНөлдікемесығыстырыл-ғандисперсиясыбарталшық |
| ЛВС(Ethernet,Fast/GigabitEthernet,FDDI,ATM) | ЛВС (Ethernet,Fast/GigabitEthernet,FDDI,ATM) | Ұзартылған желілер(Ethernet,Fast/GigabitEthernetFDDI,ATM),МагистральдарSDH) | Шамадан тыс ұзартылған желілер,супермагис-тральдар(SDH,ATM) | Шамадан тыс ұзартылған желілер,супермагис-тральдар(SDH,ATM)Барлық оптикалық желілер |

8.2-кесте

ОТ типтік сипаттамалары

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ОК типі | Сандықапертура | Жұмысдиапазоны,мкм | Өшу коэффициенті,дБ/км | Кеңжолақты коэффициент,МГц-км | Меншіктіхроматикалықдисперсияпс/км-нм |
| *Көпмодалы градиетті ОК* |
| 50/125 мкм(МСЭ-ТG651)62,5/125мкм | 0.2 | 0.825...0.8 | ≤2.7 | ≥400 |  |
| 75 | ≤1.0 | ≥600 |
| 1.27...1.34 |  |  |
| 0.28 | 0,825...0,8 | ≤3.5 | ≥200 |
| 75 | ≤2.0 | ≥500 |
| 1.27...1.34 |  |  |
| *Бірмодалы ОК* |
| SF9/125мкм(МСЭ-ТG652) | 0.1 | 1.285...1.3 | ≤0.43 |  | ≤3.5 |
| 3 | ≤0.28 | ≤18 |
| 1.525...1.5 |  |  |
| 75 |  |
| DSF8/125мкм(МСЭ-ТG653) | 0.1 | 1.285...1.3 | ≤0.43 | ≤18 |
| 3 | ≤0.28 | ≤3.5 |
| 1.525...1.5 |  |  |
| 75 |  |

Көптеген талшықты-оптикалық құрылғылар 800-ден 1600 нм-ге дейінгі диапазондағы инфрақызыл спектр аймағын, негізінен үш мөлдірлік терезелерінде пайдаланады: 850, 1310 және 1550 нм. Дәл осы үш толқын ұзындығының жақындығы сигналдың әлсіреуінің жергілікті минимумдарын құрайды және үлкен тарату диапазонын қамтамасыз етеді.

**7.2. Көпмодалы градиентті талшықтар**

Стандартты қөпмодалы градиентті талшықта (50/125 немесе 62,5/125) жарық өткізетін ядроның диаметрі 50 және 62,5 микронды құрайды, бұл жіберу толқын ұзындығынан үлкен шама реті. Бұл барлық үш мөлдірлік терезелерінде жарық сәулелерінің әртүрлі түрлерінің - модалардың таралуына әкеледі. 850 және 1310 нм екі мөлдір терезе әдетте көпмодалы талшық арқылы жарық беру үшін пайдаланылады.

**7.3. Бірмодалы талшықтар**

*Қадамдық бірмодалы талшықта* (SF) жарық өткізетін ядроның диаметрі 8 - 10 мкм және жарықтың толқын ұзындығымен салыстыруға болады. Мұндай талшықта жарықтың жеткілікті ұзын толқын ұзындығында λ>λCF(λ>λCF – кесілген толқын ұзындығы), тек бір сәуле (бір мода) таралады. Бір модалы талшықтағы бірмодалы режим 1310 және 1550 нм мөлдірлік терезелерінде жүзеге асырылады. Тек бірмодалы тарату режим аралық дисперсияны болдырмайды және осы мөлдірлік терезелерінде бірмодалық талшықтың өте жоғары өткізу қабілетін қамтамасыз етеді. Дисперсия бойынша ең жақсы таралу режимі 1310 нм толқын ұзындығына жақын жерде, хроматикалық дисперсия нөлге жеткенде қол жеткізіледі. Жоғалту тұрғысынан бұл ең жақсы мөлдірлік терезесі емес. Бұл терезеде жоғалту 0,3 - 0,4 дБ/км құрайды, ал ең төменгі 0,2 - 0,25 дБ/км әлсіреу 1550 нм терезеде қол жеткізіледі.

*Дисперсиялық ығысқан бірмодалы талшықта* (DSF) нәтижесінде дисперсия жойылатын толқын ұзындығы, нөлдік дисперсия толқын ұзындығы λ0, 1550 нм терезеге ығысады. Бұл ығысу талшықтың сыну көрсеткішінің ерекше профилінің арқасында қол жеткізіледі, 2.1. сурет.Осылайша, дисперсиялық ығысқан талшықта ең жақсы сипаттамалар ең аз дисперсия бойынша да, ең аз шығын бойынша да жүзеге асырылады. Сондықтан мұндай талшық жүз немесе одан да көп километрге дейінгі қайталағыштар арасындағы қашықтық бар ұзартылған сегменттерді салу үшін қолайлы. Әрине, жалғыз жұмыс толқын ұзындығы 1550 нм-ге жақын қабылданады.

*Нөлдік емес дисперсияға ауысқан бір модалы талшық* NZDSF, DSF-тен айырмашылығы, бір толқын ұзындығын емес, бірден бірнеше толқын ұзындығын (мультиплексті толқындық сигнал) беру үшін оңтайландырылған және оны «жалпы оптикалық желілердің» - түйіндері оптоэлектрондық түрлендіруден өтпейтін желілердің магистральдарын құру кезінде тиімді пайдалануға болады.

Мультиплексті сигналды ұзақ қашықтыққа беру сызықтық кең жолақты оптикалық күшейткіштерді қолдануды қажет етеді, олардың ішінде эрбиуммен легірленген талшыққа негізделген эрбийлі күшейткіштер (EDFA) ең көп таралған. EDFA типті сызықтық күшейткіштер сигналды 1530 – 1560 нм диапазонында тиімді түрде күшейте алады. NZDSF талшығындағы нөлдік дисперсияның толқын ұзындығы, DSF талшығынан айырмашылығы, осы диапазоннан тыс шығарылады, бұл бірнеше толқын ұзындығының таралуы кезінде нөлдік дисперсия нүктесінің төңірегіндегі сызықты емес әсерлердің әсерін айтарлықтай әлсіретеді.

 Бір модалы талшықтардың аталған үш түрін оңтайландыру оларды әрқашан тек белгілі бір тапсырмалар үшін ғана қолдану керек дегенді білдірмейді: SF – 1310 нм толқын ұзындығында сигнал беру, DSF – 1550 нм толқын ұзындығында сигнал беру, NZDSF – 1530 – 1560 нм терезесінде мультиплексті сигнал беру. Мысалы, 1530 – 1560 нм терезесіндегі мультиплексті сигналды стандартты бір режимді SF талшығы арқылы беруге болады. Алайда, SF талшығын қолданған кезде релесіз аймақтың ұзындығы NZDSF қолданғанға қарағанда аз болады немесе нәтижесінде пайда болған хроматикалық дисперсияны азайту үшін лазерлік таратқыштардың спектрлік сәулеленуінің өте тар жолағы қажет болады. Ең жоғары рұқсат етілетін қашықтық талшықтың өзінің (сөну, дисперсия), сондай-ақ қабылдау-тарату жабдығының (таратқыштың қуатымен, жиілігімен, сәулеленудің спектрлік кеңеюімен, қабылдағыштың сезімталдығымен) техникалық сипаттамаларымен айқындалады.

**7.4. Сигналдың әлсіреуі**

Талшық екі маңызды параметрмен сипатталады: әлсіреу және дисперсия. Талшықтағы таралатын сигналдың әлсіреуі (шығыны) және дисперсиясы неғұрлым аз болса, регенераторлар немесе қайталағыштар арасындағы қашықтық соғұрлым көп болуы мүмкін.

Талшықтағы жарықтың әлсіреуіне келесі факторлар әсер етеді: сіңіру жоғалуы; шашырау шығындары; кабельдік шығындар.

Абсорбциялық және шашырау шығындары жиынтықта тән ысыраптар деп аталады, ал кабельдік жоғалтулар өзінің сипатына қарай қосымша шығындар деп те аталады, 9.1-сурет.



9.1-сурет. Талшық жоғалтудың негізгі түрлері

Талшықтың жалпы әлсіреуі (дБ/км-мен өлшенген) мыналардың қосындысы ретінде анықталады:

$a=a\_{int}+a\_{rad}+a\_{abs}+a\_{sct}+a\_{rad}$ (9.1)

аabs сіңіру шығындары кварц әйнегіндегі өзіндік шығындардан (ультракүлгін және инфрақызыл сіңіру) және қоспалардағы жарықтың сіңуіне байланысты шығындардан тұрады.Қоспа орталықтары қоспаның түріне байланысты белгілі бір (осы қоспаға тән) толқын ұзындығында Жарық сіңіреді және сіңірілген жарық энергиясын Джоуль жылу түрінде таратады. Тіпті қоспалардың шамалы концентрациясы шығындар қисығында шыңдардың пайда болуына әкеледі, 9.1-сурет. Ол қоспаларға сәйкес келетін 1480 нм толқын ұзындығы аймағында тән максимумды атап өткен жөн. Бұл шың әрқашан бар. Үлкен шығындарға байланысты осы шыңның аймағындағы спектр аймағы іс жүзінде қолданылмайды.

Ішкі сіңіру жоғалтулары ультракүлгін және инфрақызыл аймақтарда жоғарылайды және маңызды болады. Сәулелену толқындарының ұзындығы 1,6 мкм-ден жоғары болған кезде қарапайым кварц шыны инфрақызыл жұтылумен байланысты жоғалтулардың ұлғаюына байланысты мөлдір емес болады, 9.1-сурет.

*аsct шашырауындағы шығындар.*1970 жылға қарай өндірілген оптикалық талшық соншалықты таза болады (99,9999%), сондықтан қоспалардың болуы талшықта жоғалудың басым факторы бола бермейді. 800 нм толқын ұзындығында ыдырау 1.5 дБ / км болды. Релей деп аталатын жарықтың шашырауы одан әрі құлдыраудың төмендеуіне жол бермейді. Релей шашырауы талшықта микроскопиялық масштабтағы гетерогенділіктің болуына байланысты. Мұндай гетерогенділікке түсетін жарық әртүрлі бағытта таралады. Нәтижесінде оның бір бөлігі қабықта жоғалады. Бұл гетерогенділіктер сөзсіз талшық жасау кезінде пайда болады.

Рэйлейдің шашырау шығындары λ заңы бойынша толқын ұзындығына тәуелді және қысқа толқындар аймағында айқынырақ болады, 9.2-сурет.



9.2-сурет. 1500 нм толқын ұзындығы аймағындағы әлсіреуге әсер ететін факторлар.

Таза кварц талшығының өзіндік тозуының төменгі шегіне жететін толқын ұзындығы 1550 нм құрайды және релей шашырауы мен инфрақызыл жұтылу салдарынан болатын шығындар арасындағы ақылға қонымды ымыраға байланысты анықталады.

Ішкі шығындар α=Кrelλ– 4+δOH(λ)+С·е–k/λформуласымен жақсы интерполяцияланады, мұндағы δOH(λ) OH қоспаларында 1480 нм максимуммен жұтылу шыңын көрсетеді, ал бірінші және соңғы мүшелер Релей шашырауына сіңіру және инфрақызыл сәулелер сәйкес келеді. (Крел = 0,8 мкм4 дБ/км; С = 0,9 дБ/км; k = 0,7 – 0,9 мкм; деректер кварц үшін берілген). 1.3Суретте. -кестеде төрт негізгі параметрдің сипаттамалық мәндерін (850, 1300 және 1550 нм үш мөлдірлік терезелеріндегі әлсіреу минимумдары және 1480 нм толқын ұзындығындағы абсорбция шыңы) көрсете отырып, меншікті жоғалтулардың спектрлік тәуелділігінің жалпы көрінісі көрсетілген. ) қазіргі бірмодалы және көпмодалы талшықтар үшін.

9.3-сурет. Оптикалық талшықтағы ішкі жоғалту

Кабельдік (радиациялық) шығындар αрад жабындар мен қорғаныш қабықшаларды жағу, кабельді өндіру, сондай-ақ талшықты-оптикалық кабельдерді орнату кезінде пайда болатын талшықтардың бұралуынан, деформациясынан және майысуынан туындайды. Кабельді төсеуге арналған техникалық шарттарды ескере отырып, радиациялық шығындардан номиналды үлес жалпы әлсіреудің 20% аспайды. Егер кабельдің иілу радиусы ТОК спецификациясында көрсетілген ең аз иілу радиусынан аз болса, қосымша радиациялық шығындар пайда болады.

Қорғаныс жабыны, жоғарыда айтылғандай, ОК-де тығыз оралған кезде оптикалық талшықтың механикалық сенімділігін арттыруға және олардың арасындағы өзара (крест) кедергілерді азайтуға арналған. OТ қабықшасының қалыңдығы неғұрлым көп болса, оның жабынмен сыртқы шекарасындағы басқарылатын режимдер өрісі соғұрлым аз болады және, тиісінше, қорғаныш жабынындағы қосымша шығындар аз болады. Екінші жағынан, қабықтың қалыңдығының ұлғаюы оптикалық талшықтың икемділігінің нашарлауына және оның құнының өсуіне әкеледі. Сондықтан көпмодалы оптикалық талшықтарда қаптама диаметрі әдетте өзек диаметрінен 2,0...2,5 есе үлкен етіп таңдалады. Бұл жағдайда қорғаныс жабынындағы шығындар 0,1 дБ/км аспайды. Бір модалы оптикалық талшықтар үшін бұл параметрлер арасындағы байланыс әртүрлі.

Негізгі режимнің өрісі қаптамаға айтарлықтай тереңдікке енетіндіктен, жабындағы аз шығынды қамтамасыз ету үшін қаптаманың қалыңдығы өзек радиусынан 10 немесе одан да көп есе көп болуы керек.

Кабельді өндіру кезінде талшықтың деформациясы (микробүктеу, бұралу, қысу) қосымша шығындардың пайда болуының тағы бір себебі болып табылады. Кабельдік материалдардың дұрыс таңдауымен, ОК конструкциясы мен өндірісінің технологиясымен көпмодалы және бірмодалы оптикалық талшықтардағы бұл жоғалтулар жалпы шығындардың 20% аспайды.

Қосымша қуат жоғалтулары 0,8...1,7 мкм толқын ұзындығы диапазонында дерлік тұрақты.

Оптикалық кабельдік желілерді салу және пайдалану кезінде операциялық ысыраптар деп аталатын жағдайлар орын алуы мүмкін. Ең алдымен, бұл жоғалтулар OK төсеу кезінде сөзсіз пайда болатын OТ макробүктемелерімен (иілу радиусы>> 1 мм) байланысты. Тағы бір себеп - ОТ меншікті шығындарының біртіндеп өсуі.

Макробұзылулардың жоғалуы басқарылатын режимдердің радиациялық режимдерге айналуымен байланысты. Иілу радиусы әдеттегі OТ үшін бірнеше сантиметр болатын сыни мәнге дейін азайған кезде олар күрт өседі. Сондықтан ОК-ны жобалау кезінде иілу радиусын қажетті шектерге дейін шектейтін құрылымдық элементтерді қарастыру қажет.

ОТ меншікті жоғалтуларының бірте-бірте ұлғаюының негізгі себебі ылғалдың ОК-қа енуі болып табылады. Оның әсерінен әйнек бұлтты болып, микрожарықтар пайда болады. Ылғалдан қорғау үшін ылғалға төзімді қабықтар мен гидрофобты толтыру қолданылады.

**7.5.. Дисперсиялық және өткізу қабілеттілігі**

**7.5.1. Дисперсия түрлері**

Оптикалық талшық тек жарық энергиясын ғана емес, сонымен қатар пайдалы ақпарат сигналын да жібереді. Жарық импульстары, олардың реті ақпарат ағынын анықтайтын, таралу процесінде бұлыңғыр болады. Жеткілікті үлкен кеңейту кезінде импульстар қабаттаса бастайды, сондықтан қабылдау кезінде оларды бөлу мүмкін болмайды.

Дисперсия-импульстардың кеңеюі - уақыт өлшемі бойынша l ұзындық кабелінің шығысы мен кірістеріндегі импульстар ұзақтығының квадраттық айырмашылығы ретінде анықталады. Әдетте дисперсия 1 км жылдамдықпен нормаланады және пс / км-мен өлшенеді. Жалпы жағдайда Дисперсия төменде қарастырылған үш негізгі фактормен сипатталады:

* басқарылатын режимдердің таралу жылдамдықтарының айырмашылығы (модааралық дисперсия ηmod),
* жарық бағыттағыш құрылымының бағыттаушы қасиеттері (толқын бағыттаушы дисперсия ηw),
* оптикалық талшықты материалдың қасиеттері (материалдық дисперсия ηmat).



9.4-сурет. Дисперсия түрлері

Дисперсия мәні неғұрлым аз болса, соғұрлым көп ақпарат талшық арқылы берілуі мүмкін. Алынған дисперсия η мына формула бойынша анықталады:

$τ^{2}=τ\_{mod}^{2}+τ\_{chr}^{2}=τ\_{mod}^{2}+(τ\_{mat}^{2}+τ\_{w}^{2})^{2}$ (9.2)

**7.5.2. Модаралық дисперсия**

Модаралық дисперсиярежимдердің әртүрлі таралу жылдамдығына байланысты туындайды және тек көпмодалы талшықта болады. Параболалық сыну көрсеткіші профилі бар сатылы көпмодалы және градиентті көпмодалы талшықтар үшін оны сәйкесінше мына формулалар бойынша есептеуге болады:

$τ\_{modstep}\left(L\right)\*L=\left\{\begin{array}{c}\frac{n\_{1}∆}{c}L\\\frac{n\_{1}∆}{c}\sqrt{L\*L\_{c}}\end{array}\right.\begin{matrix}L<L\_{c}\\L>L\_{c}\end{matrix}$(9.3)

$τ\_{modgrad}\left(L\right)\*L=\left\{\begin{array}{c}\frac{n\_{1}∆^{2}}{2c}L\\\frac{n\_{1}∆^{2}}{2c}\sqrt{L\*L\_{c}}\end{array}\right.\begin{matrix}L<L\_{c}\\L>L\_{c}\end{matrix}$(9.4)

мұндағы Lc - аралық ілінісу ұзындығы (сатылы талшық үшін шамамен 5 км, градиент талшығы үшін шамамен 10 км).

Дисперсиялық заңның сызықтықтан квадраттыққа өзгеруі нақты талшықтағы модалардың өзара әрекеттесуіне және олардың ішіндегі энергияның қайта бөлінуіне әкелетін біртексіздіктергебайланысты.L > Lc кезінде, барлық модалар белгілі бір стационарлық пропорцияда сәулеленуде болған кезде тұрақты күй пайда болады. Әдетте, көпмодалы талшықты пайдаланған кезде белсенді құрылғылар арасындағы байланыс желілерінің ұзындығы 2 км-ден аспайды және модааралық байланыс ұзындығынан әлдеқайда аз. Сондықтан сызықтық дисперсия заңын қолдануға болады.

Δ квадраттық тәуелділігіне байланысты градиентті талшық үшін модааралық дисперсияның мәндері сатылыға қарағанда әлдеқайда аз, бұл байланыс желілерінде градиентті мультимодалы талшықты пайдалануды тиімдірек етеді.

Тәжірибеде, әсіресе көпмодалы талшықты сипаттағанда, өткізу қабілеттілігі термині жиі қолданылады. W өткізу қабілеттілігін есептеген кезде мына формуланы қолдануға болады:

$W=0.44/τ$(9.5)

Өткізу жолағы МГц·км өлшенеді. Өткізу жолағын анықтаудан дисперсияның таралу қашықтығына және берілетін сигналдардың жоғарғы жиілігіне шектеулер енгізетінін көруге болады. W физикалық мағынасы 1 км желі ұзындығымен берілетін сигналдың максималды жиілігі (модуляция жиілігі). Егер дисперсия қашықтыққа байланысты сызықты өссе, онда өткізу қабілеттілігі қашықтыққа кері тәуелді болады.

**7.5.3. Хроматикалық дисперсия**

Хроматикалық дисперсияматериалды және толқындық құрамдас бөліктерден тұрады және бірмодалы және көпмодалы талшықтарда таралу кезінде пайда болады. Дегенмен, ол аралық дисперсияның болмауына байланысты бір модты талшықта айқын көрінеді.

Материалдық дисперсия талшықтың сыну көрсеткішінің толқын ұзындығына тәуелділігіне байланысты. Бір модалы талшықтың дисперсиясының өрнегі толқын ұзындығына сыну көрсеткішінің дифференциалды тәуелділігін қамтиды:

$τ\_{mat}\left(∆λ,L\right)=∆λ\*L\*\frac{λ}{c}\frac{d^{2}n}{dλ^{2}}=∆λ\*L\*M(λ)$(9.6)

Толқындық бағыттағы дисперсия коэффициентінің тәуелділігіне байланысты толқын ұзындығы бойынша моданың таралуы:

$τ\_{w}\left(∆λ,L\right)=∆λ\*L\*2n\_{1}^{2}∆/cλ=∆λ\*L\*N(λ)$(9.7)

мұндағы M(λ) және N(λ) коэффициенттері сәйкесінше материалдың және толқын өткізгіштің меншікті дисперсиясы, ал Δλ (нм) – сәулелену көзінің когерентсіздігінен толқын ұзындығының кеңеюі. Меншікті хроматикалық дисперсия коэффициентінің алынған мәні D(λ)=M(λ)+N(λ) ретінде анықталады. Меншікті дисперсия пс/(нм·км) өлшеміне ие. Егер толқын өткізгіштің дисперсия коэффициенті әрқашан нөлден үлкен болса, онда материалдың дисперсия коэффициенті оң немесе теріс болуы мүмкін. Және бұл жерде белгілі бір толқын ұзындығында (сатылы бірмодалы талшық үшін шамамен 1310 ± 10 нм) M(λ) және B(λ) өзара компенсациясының болуы және нәтижесінде D(λ) дисперсиясының жойылуы маңызды. Бұл орын алатын толқын ұзындығы λ0 нөлдік дисперсиясының толқын ұзындығы деп аталады.Әдетте белгілі бір талшық үшін λ0 өзгеруі мүмкін толқын ұзындығының белгілі бір диапазоны көрсетіледі.Әдетте белгілі бір талшық үшін λ0 өзгеруі мүмкін толқын ұзындығының белгілі бір диапазоны көрсетіледі.

Корнинг арнайы хроматикалық дисперсияны анықтау үшін келесі әдісті пайдаланады. Ұзындығы кемінде 1 км талшықта қысқа жарық импульстарының таралуы кезінде уақыт кідірісі өлшенеді. Интерполяция диапазонынан бірнеше толқын ұзындықтары үшін деректерді іріктеуден кейін (MMF үшін 800 - 1600 нм, SF және DSF үшін 1200 - 1600 нм), кешіктіру өлшемдері бірдей толқын ұзындықтарында, бірақ тек қысқа анықтамалық талшықта (ұзындығы 2 м) қайта үлгіленеді. Ол бойынша алынған кешігу уақыттары ұзын талшықта алынған сәйкес уақыттардан шегеріледі.

 Бір модалы сатылы және көпмодты разрядты талшықтар үшін эмпирикалық Сельмейер формуласы қолданылады:

$τ\left(λ\right)=A+Bλ^{2}+Cλ^{-2}$(9.8)

A, B, C коэффициенттері реттеледі және эксперимент нүктелері η(λ) қисығына жақсырақ сәйкес келетіндей етіп таңдалады, сур. 9.5. Содан кейін меншікті хроматикалық дисперсия мына формула бойынша есептеледі:

$D\left(λ\right)=^{∂τ}/\_{∂λ}=2Bλ-Cλ^{-3}=S\_{0}(λ-^{λ\_{0}^{4}}/\_{λ^{3}})/4$(9.9)

Мұндағы λ0=(С/В)1/4 – нөлдік дисперсиялық толқын ұзындығы, жаңа параметр S0=8В – нөлдік дисперсиялық еңіс (өлшем пс/(нм2\*км), λ – меншікті хроматикалық дисперсия анықталатын жұмыс толқын ұзындығы.



9.5-сурет. Уақыт кідірістерінің қисықтары және ерекше хроматикалық дисперсиялар: а) көпмодалы градиент талшығы (62,5/125);б) бір модалы сатылы талшық (SF);в) бір модалы дисперсиялық ығысқан талшық (DSF)

Дисперсиялық ығысқан талшық үшін уақыт кідірістерінің эмпирикалық формуласы былай жазылады

$τ\left(λ\right)=A+Bλ+Cλlnλ$(9.10)

және сәйкес меншікті дисперсия ретінде анықталады

$D\left(λ\right)=^{∂τ}/\_{∂λ}=B+Clnλ=λ\_{0}S\_{0}ln(λ/λ\_{0})$(9.11)

параметрлердің мәндерімен λ0 =e-1+B/C және S0=c/λ0, мұндағы λ-жұмыс толқын ұзындығы, λ0 – нөлдік дисперсияның толқын ұзындығы, ал S0 – нөлдік дисперсияның көлбеуі.

Хроматикалық дисперсия спецификалық хроматикалық дисперсиямен қарапайым қатынас арқылы байланысты

$τ\_{chr}\left(λ\right)=D\left(λ\right)\*Δλ$(9.12)

мұндағы Δλ – көздің сәулелену спектрінің ені.

9.1-кесте.

Әртүрлі оптикалық талшықтардағы оптикалық сигналдардың дисперсиясы

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Талшық т++үрі | λ, нм | Модааралықдисперсия, пс/км$τ$мод | Меншікті хроматикалық дисперсия, пс/(нм км) D(λ) | Нәтижесінде нақты өткізу қабілеттілігі, МГц км, Вт=0,44/τ/$τ$2=$τ$2mod+(Δλ–D(λ)2/ |
| Δλ=2 нм | Δλ=4 нм | Δλ=35nm |
| MMF50/12бес | 850 | 414 1) | 99,6 3) | 958 | 766 | **125** |
| 1310 | 414 | 1.0 | 1062 | **1062** | **1050** |
| 1550 | 414 | 19.2 | 1058 | 1044 | 540 |
| MMF62,5/125 | 850 | 9732) | 106,7 4) | 441 | 414 | **114** |
| 1310 | 973 | 4.2 | 452 | **452** | **450** |
| 1550 | 973 | 17.3 | 451 | 450 | 384 |
| SF8/125 | 1310 | 0 | <1,8 5) | **>120000** | **61000** | **6900** |
| 1550 | 0 | 17.5 | **12600** | 6300 | 720 |
| DSF8/125 | 1310 | 0 | 21.26) | 10400 | 5200 | 594 |
| 1550 | 0 | <1,7 | >120000 | 65000 | 7400 |

1) - (2.2) формуласы бойынша, Δ=0,013, n1 = 1,47

2) - (2.2) формуласы бойынша, Δ=0,02, n1 = 1,46

3) – (2.9) формуласы бойынша, λ0=1297..1316 нм, S0≤0,101 пс/(нм2\*км)

4) – (2.9) формуласы бойынша, λ0= 1322..1354 нм, S0≤0,097 пс/(нм2\*км)

5) – (2.9) формуласы бойынша, λ0 = 1301,5..1321,5 нм, S0≤0,092 пс/(нм2\*км)

6) – (2.9) формуласына негізделген, λ0=1535..1565 нм, S0≤0.085 пс/(нм2\*км) Техникалық сипаттамалар Corning компаниясы шығарған талшықтардан алынған.

Хроматикалық дисперсияны азайту үшін лазерлік таратқыштар (Δλ=2 нм) сияқты анағұрлым когерентті сәулелену көздерін және нөлдік дисперсия толқын ұзындығына жақын жұмыс толқын ұзындығын пайдалануға әкеледі. 9.1-кестеде әртүрлі оптикалық талшықтардың дисперсиялық қасиеттерін көрсетеді.

Сигнал қолайлы сапада берілуі үшін – сигнал-шу қатынасы белгілі бір мәннен төмен болмады – тарату толқын ұзындығындағы талшықтың өткізу қабілеттілігі модуляция жиілігінен асуы қажет.

**7.5.4. Поляризация режимінің дисперсиясы**

$τ\_{pmd}$ поляризациялық мода дисперсиясы-екі өзара перпендикуляр поляризация компоненттерінің әртүрлі таралу жылдамдығына байланысты пайда болады. T нақты дисперсия коэффициенті 1 км-ге есептелген және өлшемі бар ($пс/\sqrt{км}$), aл $τ\_{pmd}τ\_{pmd}=T\*\sqrt{L}$ заңы бойынша қашықтықтың өсуімен өседі. Алынған дисперсияға салымды есепке алу үшін $τ\_{pmd}$ терминін оң жаққа қосу керек (2.1). $τ\_{pmd}$ шамалы болғандықтан, ол тек бір режимді талшықта, ал кең жолақты сигнал (өткізу қабілеті 2.4 Гбит/с және одан жоғары) өте тар спектрлік сәулелену жолағы 0.1 нм және одан аз болған кезде көрінуі мүмкін. Бұл жағдайда хроматикалық дисперсияны поляризациялық мод дисперсиясымен салыстыруға болады.

Бір модалы талшықта іс жүзінде бір мода емес, екі негізгі мода – бастапқы сигналдың екі перпендикуляр поляризациясы таралуы мүмкін. Геометрияда гетерогенділік жоқ идеалды талшықта екі мода бірдей жылдамдықпен таралады, 9.6а-сурет. Алайда, іс жүзінде талшықтар идеалды геометрияға ие емес, бұл режимдердің екі поляризациялық компоненттерінің әртүрлі таралу жылдамдығына әкеледі, 9.6б-сурет.



9.6-сурет. Поляризация режимінің дисперсиясының пайда болуы

$τ\_{pmd}$ шамадан тыс деңгейі, лазердің шырылдаған модуляцияланған сигналымен, сондай-ақ жоғалтулардың поляризациялық тәуелділігімен бірге аналогтық бейне сигналының амплитудасының уақытша ауытқуларына әкелуі мүмкін. Нәтижесінде сурет сапасы нашарлайды немесе теледидар экранында диагональды жолақтар пайда болады. Жоғары өткізу қабілеттілігі (>2,4 Гбит/с) сандық сигналды беру кезінде $τ\_{pmd}$ болуы бит қателік жылдамдығын арттыруы мүмкін.

Поляризация режимінің дисперсиясының пайда болуының негізгі себебі – талшықты дайындау немесе пайдалану кезінде пайда болатын бірмодалы талшықтың өзегі профилінің дөңгелек еместігі (сопақтығы). Талшықты өндіруде тек қатаң бақылау осы параметрдің төмен мәндеріне қол жеткізуге мүмкіндік береді.

**7.6. Тест сұрақтары**

1. Оптикалық талшықтардың негізгі екі тобы қандай?
2. Талшықтың қай түрі ең жақсы дисперсиялық сипаттамаларға ие?
3. ТОТЖ қандай оптикалық талшық стандарттары кеңінен қолданылады?
4. LAN құрылысында оптикалық талшықтың қандай түрі қолданылады?
5. Ауыр желілер мен супермагистральдарды салу кезінде оптикалық талшықтың қандай түрі қолданылады?
6. Көпмодалы талшық арқылы жарық беру үшін қандай мөлдірлік терезелері қолданылады?
7. Бір режимді талшықта дисперсияны қалай алуға болады?
8. Толық оптикалық желілерді салу үшін оптикалық талшықтың қандай түрін қолдануға болады?
9. Талшықтағы толық ыдырау неден тұрады?
10. Сіңіру жоғалтулары немен шартталған?
11. Шашырау жоғалтулары немен шартталған?
12. Қандай диапазонда оптикалық талшықтағы өзіндік жоғалтулар үлесі ең маңызды?
13. Неліктен кабельдік жоғалтулар пайда болады?
14. Дисперсия мен өткізу қабілеті қалай байланысты?
15. Дисперсияның қандай түрлері бар?
16. Нөлдік дисперсияның толқын ұзындығы дегеніміз не?
17. Хроматикалық дисперсияны анықтаудың қандай әдістері бар?
18. Поляризациялық мода дисперсиясының себебі неде?