



ТЕХНОЛОГИЧНО УЧИЛИЩЕ ЕЛЕКТРОННИ СИСТЕМИ към
ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ - СОФИЯ

ДИПЛОМНА РАБОТА

по професия код 523050 „Техник на компютърни системи“
специалност код 5230502 „Компютърни мрежи“

Тема: Проектиране и анализиране на преносна мрежа за интернет доставчик, чрез технология DWDM.

Дипломант:

Моника Марианова Спасова

Дипломен ръководител:

маг. инж. Мартин Липовски

СОФИЯ



ТЕХНОЛОГИЧНО УЧИЛИЩЕ ЕЛЕКТРОННИ
СИСТЕМИ към ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ-СОФИЯ

Дата на заданието: 15.11.2023 г.
Дата на предаване: 15.02.2024 г.

Утвърждавам:
/ проф. д-р инж. П. Якимов /

ЗАДАНИЕ за дипломна работа

ДЪРЖАВЕН ИЗПИТ ЗА ПРИДОБИВАНЕ НА ТРЕТА СТЕПЕН НА ПРОФЕСИОНАЛНА КВАЛИФИКАЦИЯ
по професия код 523050 „Техник на компютърни системи“
специалност код 5230502 „Компютърни мрежи“

на ученика Моника Марианова Спасова от 12 Г клас

1. Тема: Проектиране и анализиране на преносна мрежа за интернет доставчик, чрез технология DWDM.

2. Изисквания:

- Да се предвидят между съседни центрове за данни следните трафични канали:
 - 2 X 10 GbE и 2 X 100 GbE
- Да се предвиди по един канал между три центъра със скорост от 100 GbE, който да бъде резервиран на канално ниво чрез резервиран модул.
- Да се използват ROADM мултиплексори във всеки от обектите.
- Да се проектира преносната среда на опорната мрежа на интернет доставчика, използвайки DWDM технологията
- Да се проектира мрежата чрез използване на специализиран програмен продукт за оразмеряване на DWDM мрежа.
- Да се проектира комуникационна мрежа, която да управлява и наблюдава оптичната DWDM мрежа чрез централизирана точка.

3. Съдържание 3.1 Теоретична част

3.2 Практическа част

3.3 Приложение

Дипломант:
/ Моника Марианова Спасова /

Ръководител:
/ маг. инж. Мартин Липовски /

ВРИД Директор:
/ ст. пр. д-р Веселка Христова /

Мнение на дипломния ръководител

Дипломанта Моника Спасова, се справи отлично по време на подготовката на дипломната работа. Прегледа достатъчно на брой източници на техническа литература – книги и специализирани сайтове, за да може да опише коректно информацията в дипломната работа, както и да направи необходимите технически изчисления, конфигурации и топологии. Участва активно и отговорно в комуникацията с мен и следваше всички насоки. Спазваше всички срокове по плана, който бяхме начертали заедно. Отнесе се отговорно към задачата и изпълни всички изискванията на заданието.

Дипломанта завърши дипломната работа в срок, документа е завършен и добре описан, затова предлагам да се допусне до защита.

Предлагам за рецензент инженер Илко Кръстев.

София,

27.2.2024

маг.инж. Мартин Липовски

Използвани съкращения

ALS - Automatic Laser Shutdown

APD - Avalanche Photodiode

ASE - Amplified Spontaneous Emission

AWG - Arrayed waveguide gratings

BDR - Backup Designated Router

BER - Bit Error Ratio

CD - Chromatic Dispersion

CTP - Cisco Transport Planner

CWDM - Coarse Wavelength Division Multiplexing

DBD - Database Description

DFB - Distributed Feedback Laser

DHCP - Dynamic Host Configuration Protocol

DR - Designated Router

DWDM - Dense Wavelength Division Multiplexing

EDFA - Erbium Doped Fiber Amplifier

EOL - End of Life

FDM - Frequency-Division Multiplexing

IGP - Interior Gateway Protocol

IP - Internet Protocol

ITU - International Telecommunication Union

LAN - Local Area Network

LC - Lucent Connector

LED - Light Emitting Diode

LTE - Long Term Evolution

MAN - Metropolitan Area Network

MPO -Multi-fiber Push On
NBMA - Non-broadcast Multiple Access
NLE - Nonlinear Effect
NZDSF - Non-Zero Dispersion-Shifted Fiber
OMA - Optical Modulation Amplitude
OSNR - Optical signal-to-noise ratio
OSPF - Open Shortest Path First
OTDR - Optical Time Domain Reflectometer
OXC - Optical Cross-Connect
PIN - Positive- Intrinsic-Negative
PMD - Polarization Mode Dispersion
PSM - Protection Switching Module
ROADM - Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer
RWP - Reduced Water Peak
SC -Standard Connector
SOA - Semiconductor Optical Amplifier
SOL - Start of Life
SRS - Stimulated Raman Scattering
SSMF - Standard Single Mode Fiber
ST - Straight Tip Connector
TDM - Time-Division Multiplexing
TE - Transverse Electric
TM - Transverse Magnetic
TNCS - Transport Node Contreller
VCSEL - Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser

Съдържание

Мнение на дипломния ръководител.....	2
Използвани съкращения.....	3
Съдържание.....	5
Увод.....	8
1. Първа Глава. Методи, средства и технологии за изграждане на оптични мрежи.....	10
1.1. Електромагнитен спектър.....	10
1.2. Източници на светлина.....	13
1.2.1. Светодиоди.....	13
1.2.2. Лазери.....	13
1.3. Светлинни детектори.....	14
1.3.1. Лавинен фотодиод.....	14
1.3.2. Положително-вътрешно-отрицателен фотодиод.....	15
1.4. Оптични ефекти.....	15
1.4.1. Отражение на светлината.....	15
1.4.2. Пречупване на светлината.....	16
1.4.2.1. Закон на Снелиус.....	17
1.4.3. Пълно вътрешно отражение на светлината.....	18
1.4.4. Дисперсия.....	19
1.4.4.1. Хроматична дисперсия.....	19
1.4.4.2. Дисперсия в режим на поляризация.....	20
1.5. Оптична модулация.....	21
1.5.1. Амплитуда на оптичната модулация.....	22
1.5.2. Оптични модулатори.....	23
1.5.2.1. Електрооптичен фазов модулатор.....	23
1.5.2.2. Електроабсорбционен модулатор (EA).....	24
1.6. Оптично влакно.....	25
1.6.1. Многомодови оптични влакна.....	26
1.6.2. Едномодови оптични влакна.....	28
1.6.3. Затихване.....	29
1.7. Видове едномодови кабели, използвани в DWDM мрежите	31

1.7.1. G.652.....	31
1.7.2. G.655.....	32
1.8. Оптични конектори.....	33
1.8.1. SC конектор.....	34
1.8.2. LC конектор.....	34
1.8.3. FC конектор.....	35
1.8.4. ST конектор.....	36
1.8.5. МРО конектор.....	37
1.8.6. MU конектор.....	37
1.8.7. E2000 конектор.....	38
1.9. Оптични усилватели.....	38
1.9.1. Усилватели с влакна, легирани с ербиеви йони (EDFA).....	39
1.9.2. Раманов усилвател.....	41
1.9.3. Разлики между Рамановите усилватели и EDFA.....	44
1.9.4. Полупроводникови оптични усилватели.....	45
1.10. Оптични предаватели и приемници.....	47
1.11. Оптични мултимплексори и демултимплексори.....	49
1.11.1. Техники за мултимплексиране и демултимплексиране....	51
1.11.2. Оптични Add/Drop мултимплексори.....	54
1.12. Оптични транспондери и мукспондери.....	56
1.13. Мултимплексиране.....	57
1.13.1. Мултимплексиране с честотно разделяне (FDM).....	58
1.13.2. Мултимплексиране с разделяне по време (TDM).....	59
1.13.3. Мултимплексиране с разделяне на дължината на вълната (WDM).....	59
1.13.3.1. CWDM.....	60
1.13.3.2. DWDM.....	61
1.13.3.2.1. Видове топологии DWDM.....	63
• От точка до точка.....	63
• Кръг.....	64
1.14. Механизми за защита.....	65
1.14.1. Модул за резервираност (PSM).....	67
1.14.2. Двупосочна схема на защита.....	69

1.15. Оптични карти.....	70
1.15.1. TNCS-O (OTDR).....	70
1.15.2. 200G-CL-LC.....	72
1.15.3. OTU2-XP.....	73
1.15.4. MD-48-OOD.....	73
1.15.5. 9-SMR24FS.....	74
2. Втора Глава. Проектиране и анализиране на оптичната преносна мрежа, използвайки технологията DWDM.....	75
2.1. Изисквания към оптичната преносната мрежа.....	75
2.2. Топология на мрежата.....	76
2.3. Симулационен софтуер за оразмеряване на DWDM мрежа... 79	
2.4. Анализ и резултати от симулация на оптичната преносна мрежа.....	81
2.4.1. Маршрутизиране на дължината на вълната.....	81
2.4.2. Оптични резултати.....	84
2.4.3. Разположение на оборудването в комуникационния шкаф.....	98
2.4.4. Вътрешни връзки в центровете за данни.....	102
2.4.5. Наличност на връзките.....	118
3. Трета Глава. Проектиране и анализиране на мрежа за управление на оптичната преносна мрежа.....	121
3.1. Изисквания към мрежата за управление и наблюдение на оптичната преносна мрежа.....	121
3.2. Топология на мрежата за управление.....	122
3.3. Маршрутизиращ протокол OSPF.....	123
3.3.1. Конфигурация на OSPF.....	128
3.3.2. Тестване на свързаността на OSPF.....	135
3.4. In band управление.....	136
3.5. Out of band управление.....	138
3.5.1. Конфигурация на out of band мрежа за управление...	139
3.5.2. Тестване на out of band мрежата за управление.....	145
Заключение.....	152
Използвана литература.....	153

Увод

Комуникацията в днешния свят оказва голямо влияние върху социалните взаимодействия, професионалните взаимоотношения и обмена на знания. Хората имат нуждата за свързаност и обмен на данни с желаните от тях услуги, но това не може да бъде постигнато в днешно време без помощта на компютърните мрежи.

Компютърните мрежи използват оптичните технологии като структурен гръбнак, който свързва различни възли и позволява безпроблемен пренос на данни и е в основата на нашата цифрова инфраструктура.

Оптичните технологии са в основата на комуникационната революция в днешно време. Оптичните влакна използват светлинни импулси вместо конвенционалните медни кабели, за да пренасят данни на големи разстояния с високи скорости. Начинът, по който провеждаме телефонни разговори, изпращаме данни по целия свят и използваме интернет, е напълно променен от тази технология. Оптичните връзки позволяват да се изпращат големи обеми данни с малки загуби на сигнал.

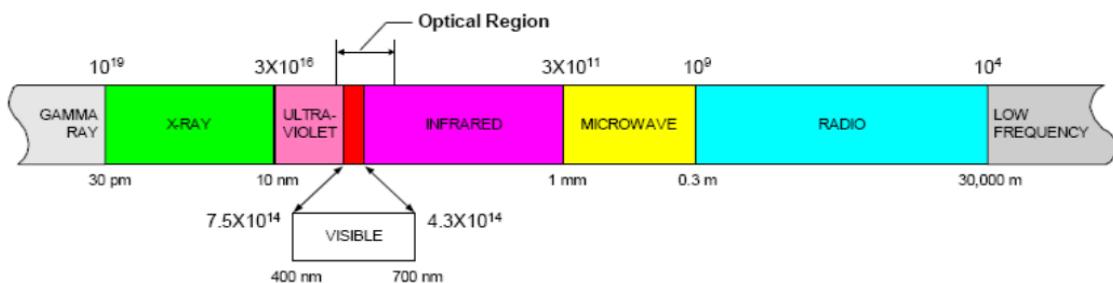
Основните цели на дипломната работа са - да се проектира и анализира преносна мрежа за интернет доставчик, като се използва технологията DWDM. Мрежата обхваща пет центъра за данни и използва два трафични канала по 10GbE и два по 100GbE, за свързаност по цялото трасе ще бъде използван G.655 кабел. Мрежата ще бъде изградена чрез специализиран софтуерен продукт за оразмеряване на DWDM мрежа.

Архитектурата ще има и управляваща комуникационна мрежа, която да управлява и наблюдава DWDM мрежата, чрез централизирана точка, използвайки маршрутизация протокол OSPF.

1. Първа Глава. Методи, средства и технологии за изграждане на оптични мрежи

1.1. Електромагнитен спектър

Светлината има капацитет за пренасяне на информация, който е 10 000 пъти по-голям от най-високите радиочестоти. Електромагнитният спектър (Фиг.1.1.) описва всички видове светлина, включително тези, които човешкото око не вижда [25]. Допълнителните предимства на оптичните влакна пред медта включват възможността за пренос на сигнали на големи разстояния, устойчивост на електрически смущения и сигурност.

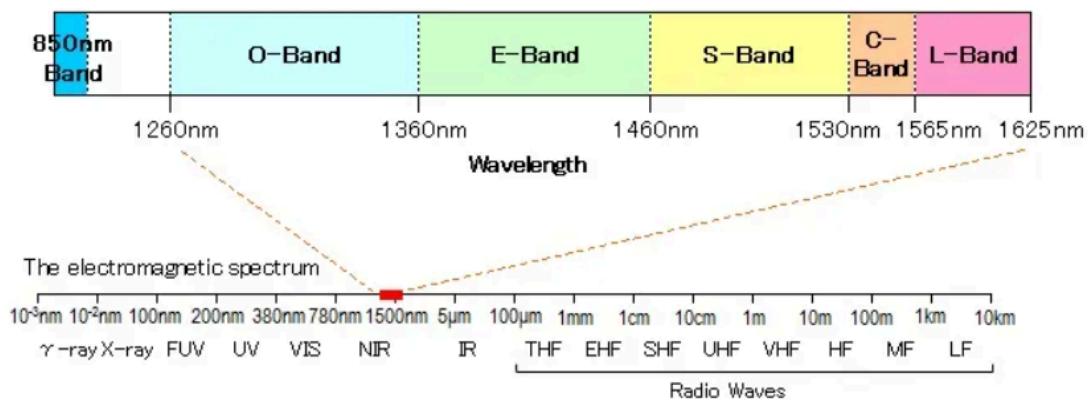


Фиг. 1.1. Електромагнитен спектър

Въсъщност по-голямата част от светлината във Вселената е невидима за човешкото око. Цялата светлина, или електромагнитното излъчване, се движи в пространството със скорост 300 000 км в секунда - скоростта на светлината. Светлината има няколко основни свойства, които я описват. Едно от тях е честотата, която отчита броя на вълните, които преминават през дадена точка за една секунда. Друга е дължината на вълната - разстоянието от върха на една вълна до

върха на следващата. Тези свойства са тясно и обратно свързани. Колкото по-голяма е честотата, толкова по-малка е дълчината на вълната - и обратно. Третото е енергия, която е подобна на честотата, тъй като колкото по-висока е честотата на светлинната вълна, толкова повече енергия носи тя. Светлината е частта от електромагнитният спектър от около 300 nm до 2000 nm.

Оптичната комуникация се осъществява основно в областта на дълчината на вълната, където оптичните влакна имат малки загуби при предаване. Тази област с малки загуби варира от 1260 nm до 1625 nm и е разделена на пет прозореца с дължина на вълната, наречени O- (1260nm - 1360nm), E- (1360nm - 1460nm), S- (1460nm - 1530nm), C- (1530nm - 1565nm) и L- (1565nm - 1625nm), както е показано на Фиг. 1.2. [23].



Фиг. 1.2. Ленти с дължини на вълните за оптична комуникация

Най-използваният оптичен прозорец е C-, защото при него са най-ниски загубите и се използва за мрежи на големи разстояния, комбинирани с технологиите WDM и EDFA. L-прозорецът е втория с най-ниска загуба на вълна и се използва,

когато използването на С-прозорецът не е достатъчно, за да се отговори на търсенето на широчина на честотната лента. Е-прозорецът е най-малко разпространения. Това се дължи на факта, че затихването на оптични влакна в Е-прозореца е най-високо сред петте ленти, поради остатъчния примес на вода, останал в стъклото.

Съществуват и още два прозореца за дължина на вълната, 850-nm-прозореца, който се използва за многомодови оптични комуникационни системи. Другият прозорец е U-, който се използва за наблюдение на мрежи.

За оптиката със стъклени влакна се използва светлина в инфрачервената област, която има по-дълги вълни от видимата светлина, обикновено около 850, 1300 и 1550 nm. Избират се да са в инфрачervения диапазон, защото затихването на влакното е много по-малко при тези дължини на вълните. Затихването на стъклените оптични влакна се дължи на два фактора - поглъщане и разсейване.

Поглъщането се проявява в няколко специфични дължини на вълната, наречени водни ленти, поради поглъщането от минимални количества водни пари в стъклото.

Разсейването се причинява от светлината, която се отразява от атоми или молекули в стъклото. То силно зависи от дълчината на вълната, като при по-дългите дължини на вълните разсейването е много по-малко.

Дълчините на вълните в инфрачervения диапазон преминават между светлината и топлината. При по-големи

дължини на вълните, температурата на околната среда се превръща във фонов шум, който смущава сигналите. А в инфрачервения диапазон има значителни ивици вода.

1.2. Източници на светлина

1.2.1. Светодиоди

В оптичното предаване се използват два основни типа светоизлъчващи устройства - светоизлъчващи диоди (светодиоди) и лазерни диоди или полупроводникови лазери. Светодиодите са сравнително бавни устройства, подходящи за използване при скорости, по-малки от 1 Gbps, те притежават сравнително голяма ширина на спектъра и предават светлина в сравнително широк конус. Тези устройства често се използват в многомодовите оптични комуникации [1].

1.2.2. Лазери

Полупроводниковите лазери, от друга страна, имат работни характеристики, които са по-подходящи за едномодови приложения с едномодулни влакна. Чипът с лазерен диод излъчва светлина в едната посока, която се фокусира от лещата върху влакното, а в другата посока - върху фотодиода. Фотодиодът, който е наклонен под ъгъл, за да се намалят обратните отражения в лазерната кухина, осигурява начин за наблюдение на изхода на лазерите и за осигуряване на обратна връзка, така че да могат да се правят корекции.

Широко се използват два вида полупроводникови лазери - монолитни лазери на Фабри-Перо и лазери с разпределена

обратна връзка (DFB). Вторият тип е особено подходящ за DWDM приложения, тъй като излъчва почти монохроматична светлина, може да работи с високи скорости, има добро съотношение сигнал/шум и има добра линейност. DFB лазерите също имат централни честоти в областта около 1310 nm и от 1520 до 1565 nm. Последният диапазон от дължини на вълните е съвместим с EDFA усилвателите. Съществуват много други типове и подтипове лазери. Съществуват лазери с тесен спектър на настройка, но техният диапазон на настройка е ограничен до приблизително 100-200 GHz. В процес на разработване са лазери с по-широк спектър на настройване, които ще бъдат важни в оптичните мрежи [1].

1.3. Светлинни детектори

Сигналите, предавани с различни дължини на вълната по влакното, е необходимо да се възстановят при приемника. Тъй като по своята същност фотодетекторите са широколентови устройства, оптичните сигнали се демултиплексират преди да достигнат до детектора. Широко разпространени са два типа фотодетектори: положително-вътрешно-отрицателен (PIN) фотодиод и лавинен фотодиод (APD) [2].

1.3.1. Лавинен фотодиод

Лавинните фотодиоди се използват широко в оптични системи, които използват лазери за преобразуване на оптични данни в електричество. Те са високочувствителни и високоскоростни полупроводникови светлинни сензори. Тези фотодиоди осигуряват усиливане като един фотон, взаействащ

върху устройството, освобождава много електрони. Лавинните фотодиоди изискват по-високо работно напрежение. Освен това терминът "лавина" означава, че изходът не е линеен; в резултат на това произвеждат и по-високо ниво на шум [2].

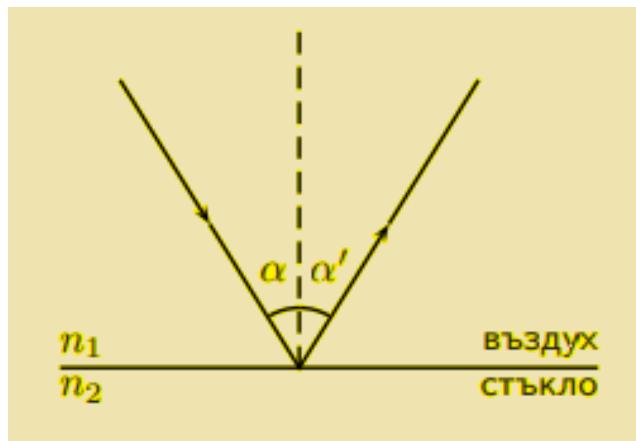
1.3.2. Положително-вътрешно-отрицателен фотодиод

Този вид фотодиоди работят по подобен принцип като светодиодите, но в обратен ред. Светлината се поглъща, а не се излъчва, и фотоните се превръщат в електрони в съотношение 1:1.

1.4. Оптични ефекти

1.4.1. Отражение на светлината

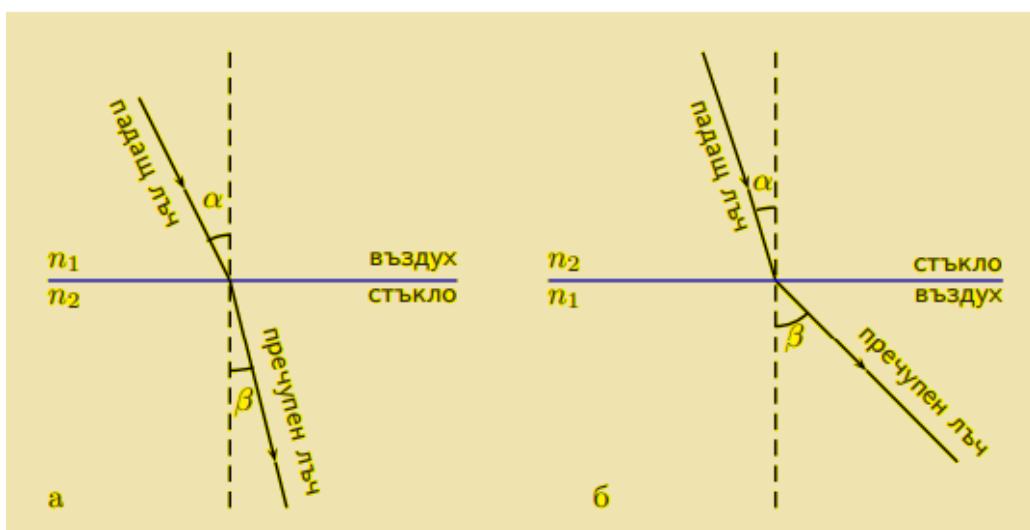
Отражение на светлината е явление, при което част от светлината, достигнала границата между две среди, променя посоката си на разпространение, като се връща отново в първата среда [2]. Лъчът, който пада върху границата се нарича падащ, а този, който се отдалечава от нея - отразен (Фиг. 1.3.). Падащият лъч, отразеният лъч и правата, перпендикулярна на отразяващата равнина в точката на падане, лежат в една и съща равнина, която се нарича равнина на падане. На Фиг. 1.3. тази равнина съвпада с равнината на чертежа.



Фиг. 1.3. Отражение на светлината

1.4.2. Пречупване на светлината

Пречупване на светлината е явление, при което част от светлината, достигнала границата между две среди, променя посоката си на разпространение, като преминава във втората среда. То се дължи на различните скорости на разпространение на светлината в двете среди. Лъчът, преминаващ във втората среда, се нарича пречупен лъч. Падащият лъч, пречупеният лъч и перпендикулярът към границата на двете среди в точката на падане лежат в равнината на падане (Фиг. 1.4.) [2].



Фиг. 1.4. Пречупване на светлината

На Фиг. 1.4. пречупеният лъч сключва ъгъл β с перпендикуляра към граничната повърхност в точката на падане. Този ъгъл се нарича ъгъл на пречупване.

Индексът на пречупването (n) е отношението на скоростта на светлината във вакуум (c) към скоростта на светлината в материала (v): $n = \frac{c}{v}$. Индексът на пречупване е относителна мярка за разпространението на скоростта на светлината. Различните дължини на вълните имат различни индекси на пречупване. Коефициентите на пречупване в различни среди са показани на Фиг. 1.5.

Среда	Стойност
Вакуум	1
Хелий	1,000034388
Въздух	1,00028821 + 1,000293
Въглероден двуокис	1,0004408
Дисилан	1,0016574
Аерогел	1,02
Лед	1,3098
Вода	1,3333
Ацетон	1,3592
Етилов алкохол	1,3617
Тефлон	1,38
Оптично влакно – обвивка	1,46
Оптично влакно – сърцевина	1,48

Фиг. 1.5. Таблица с различните коефициенти на пречупване в различни среди

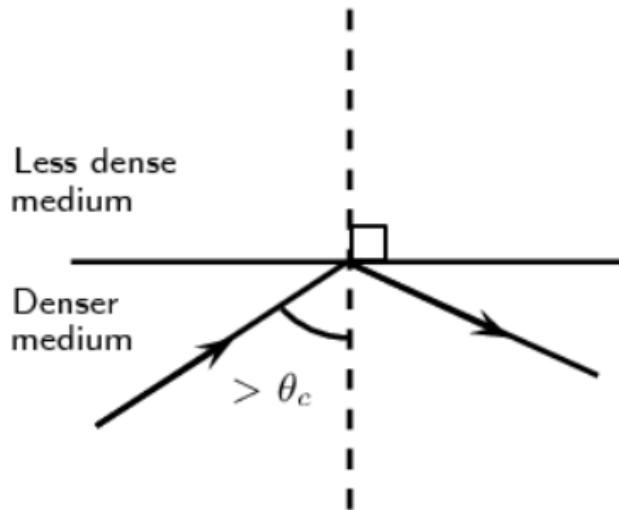
1.4.2.1. Закон на Снелиус

Законът на Снелиус гласи, че отношението между синуса на ъгъла на падане и синуса на ъгъла на пречупване не зависи от ъгъла на падане $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}$ и е равно на показателя n_{12} на

пречупване на втората среда спрямо първата. От закона на Снелиус следва, че лъч, падаш перпендикулярно към граничната повърхност, не променя посоката си, когато преминава във втората среда [2].

1.4.3. Пълно вътрешно отражение на светлината

Отражението и пречупването на светлината протичат едновременно, когато светлината достигне границата на две прозрачни среди с различна оптическа плътност. Пълно вътрешно отражение се нарича явлението, при което цялата светлина, попадаща върху граничната повърхност между две среди, се връща обратно в първата среда. Явлението се проявява, ако ъгълът на падане е по-голям от определен граничен ъгъл, наречен критичен ъгъл, показано на Фиг. 1.6. По принцип пълното вътрешно отражение се осъществява на границата между две прозрачни среди, когато светлинен лъч в среда с по-висок индекс на пречупване се приближава към другата среда под ъгъл на падане, по-голям от критичния ъгъл.



Фиг. 1.6. Пълно вътрешно отражение

1.4.4. Дисперсия

Дисперсията е разсейването на светлинните импулси при движението им по оптичното влакно. Дисперсията води до изкривяване на сигнала, което ограничава широчината на честотната лента на влакното. Два основни типа дисперсия засягат DWDM системите. Единият от тези ефекти, хроматичната дисперсия, е линеен, докато другият, дисперсията в поляризационен режим (PMD), е нелинеен.

1.4.4.1. Хроматична дисперсия

Хроматичната дисперсия възниква, защото различните дължини на вълните се разпространяват с различна скорост. Ефектът се увеличава с квадрата на скоростта на предаване. При едномодовите влакна хроматичната дисперсия има два компонента - дисперсия на материала и вълноводна дисперсия. Дисперсията на материала възниква, когато дължините на

вълните се движат с различна скорост през материала. Един светлинен източник излъчва няколко дължини на вълната в рамките на определен диапазон. Следователно, когато този диапазон дължини на вълните премине през дадена среда, всяка отделна дължина на вълната пристига по различно време. Вторият компонент на хроматичната дисперсия, вълноводната дисперсия, се появява поради различните на пречупване на сърцевината и обвивката на влакното. Ефективният показател на пречупване се променя с дълчината на вълната, както следва:

- При къси дължини на вълната светлината е добре ограничена в сърцевината. Така ефективният индекс на пречупване е близък до показателя на пречупване на материала на сърцевината.
- При средни дължини на вълната светлината се разпространява легко в обвивката. Това намалява ефективния коефициента на пречупване.
- При дълги дължини на вълната голяма част от светлината се разпространява в обвивката. Това води до повишаване на ефективния коефициент на пречупване много близо до този на обвивката [2].

1.4.4.2. Дисперсия в режим на поляризация

Повечето едномодови влакна поддържат два режима на перпендикулярна поляризация - вертикален и хоризонтален. Тъй като тези поляризационни състояния не се поддържат, възниква взаимодействие между импулсите което води до разсейване на сигнала. Дисперсията в режим на поляризация (PMD) се

причинява от формата на влакното в резултат на производствения процес или от външни фактори на напрежение. Тъй като напрежението може да варира във времето, дисперсията в режим на поляризация, за разлика от хроматичната дисперсия, подлежи на промяна във времето [2].

1.5. Оптична модулация

Оптичната модулация е процес, при който светлинната вълна се модулира (модифицира) в съответствие с високочестотен електрически сигнал, който съдържа информация. След това тези модифицирани светлинни вълни се предават чрез оптичен кабел. Съществуват два различни метода за модулиране на оптичния сигнал.

При външната модулация се използват отделни оптични модулатори, които извършват модификация на оптичните сигнали, за да променят характеристиките на сигнала. Основно се използва за модулиране на сигнали със скорост на предаване на данни над 10 Gbps.

От друга страна, при директната модулация, информацията, която трябва да бъде предадена, се поставя директно върху светлинния поток, излъчван от източника. При този метод просто токът на светлинния източник, т.е. на лазера, се променя директно с електрическия информационен сигнал, за да се генерира променящ се сигнал за оптична мощност. Така че не са необходими отделни оптични модулатори за модулиране на оптичния сигнал. При тази техника на модулация основният

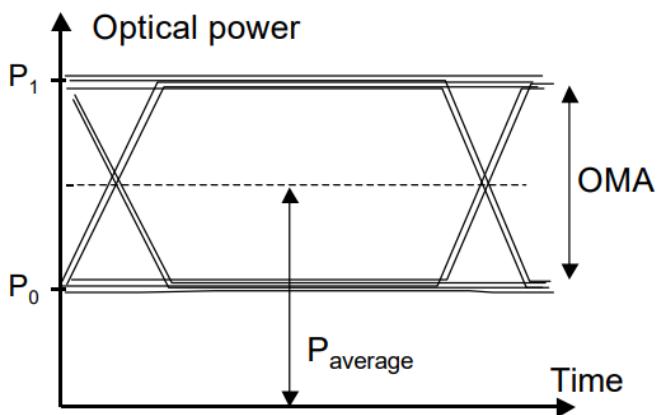
недостатък е свързан с времето на живот на носителите на и стимулираната емисия, както и с времето на живот на фотоните на източника [20].

При извършване на директна модулация с лазерен предавател лазерът се включва и изключва в зависимост от електрическия сигнал или управляващия ток. Но в този случай широчината на лазерната линия по някакъв начин се разширява. Това разширяване на широчината на лазерната линия е известно като чирп. Поради тази причина техниката за директна модулация става неподходяща за скорости на предаване на данни над 2,5 Gbps.

1.5.1. Амплитуда на оптичната модулация

Амплитудата на оптичната модулация (ОМА) на сигнала (фигура 1.7.) е важен параметър, който се използва при определяне на производителността на оптичните връзки, използвани в комуникационните системи. ОМА директно оказва влияние върху съотношението на грешки в битовете (BER) на системата.

ОМА и коефициентът на екстинкция са относителни величини, които могат да бъдат математически свързани помежду си само ако разполагаме с абсолютна референтна точка, например Р0 или средната мощност. Затихването не променя ОМА с коефициент, равен на затихването. В идеалната система оптичната мощност на нулевото ниво е нула (т.е. Р0 = 0). Това води до оптимална мощност и BER на системата.



Фиг. 1.7. Амплитуда на оптичната модулация

Практическата горна граница на коефициента на екстинкция е в от 10 до 12, което съответства на ОМА към P_0 от 9 до 11. Сложността на предавателя може да се намали значително, ако изискването за коефициент на гасене се намали. Компромисът е в увеличените изисквания за оптична мощност за същата ефективност на BER. Намаляването на коефициента на екстинкция от 10 до 12 до от 6,6 (8,2 dB) води до оптична мощност с приблизително 10 %

1.5.2. Оптични модулатори

1.5.2.1. Електрооптичен фазов модулатор

Електрооптичният фазов модулатор е съставен от литиев ниобат като основен материал и е известен също като модулатор на Max Зендер. При този метод, когато оптичен сигнал постъпи в модулатора, разделителят на лъча (Y-образен) разделя светлинния лъч на две половини и му позволява да се предава по два различни пътя. След това приложението електрически сигнал променя фазата на светлинния лъч в един от пътищата.

Светлинните вълни, след като преминат през два различни пътя, достигат до комбинирания модулатор, за да се рекомбинират. Тази рекомбинация на двета светлинни лъча може да бъде конструктивна или деструктивна. Въз основа на степента на фазовото изместване, светлината от двета сегмента се намесва в рекомбинацията. При конструктивната рекомбинация на изхода на модулатора се показва светлинна вълна и това се означава като логическа 1 на изхода. При деструктивната рекомбинация светлинните лъчи на двете половини се неутрализират взаимно и по този начин на изхода не се получава светлинен сигнал. Това се показва с логичекса 0 на изхода.

1.5.2.2. Електроабсорбционен модулатор (EA)

Този модулатор се състои основно от индиев фосфид. При този тип модулатори електрическият сигнал, съдържащ информация, променя свойствата на материала за разпространение на светлината. Така в зависимост от промяната на свойствата на изхода се получава импулс 1 или 0. Те са компактни и стабилни устройства, лесно интегрирани с други оптични устройства. EA имат почти логаритмично затихване на оптичната мощност, което зависи от приложеното към тях обратно напрежение. те абсорбират светлина с дължината на вълната на лазера, за която са предназначени. Те са бързи устройства и следователно могат да модулират непрекъсната мощност на лазера и да станат източници на къси оптични импулси (и малък работен цикъл) и при скорост над 40 Gbit/s.

Така се намаляват изискванията за пространство, мощност и напрежение на устройството, вместо да се използва отделна верига за лазерен източник и модулатор [20].

1.6. Оптично влакно

Оптичните влакна насочват светлинните вълни с минимално затихване (загуба на сигнал). Оптичните влакна се състоят от фини стъклени нишки в слоеве, наречени сърцевина и обвивка, които могат да пренасят светлина със скорост около две трети от тази на светлината във вакуум. Предаването на светлина в оптично влакно обикновено се обяснява с принципа на пълното вътрешно отражение. При този феномен 100 % от светлината, която попада върху дадена повърхност, се отразява. Светлината се отразява (отразява се обратно) или се пречупва (ъгълът ѝ се променя, докато преминава през в зависимост от ъгъла на падане (ъгълът, под който светлината попада на границата между между оптически по-плътен и по-тънък материал). Сърцевината има индекс на пречупване, който е малко по-голям от този на обвивката.

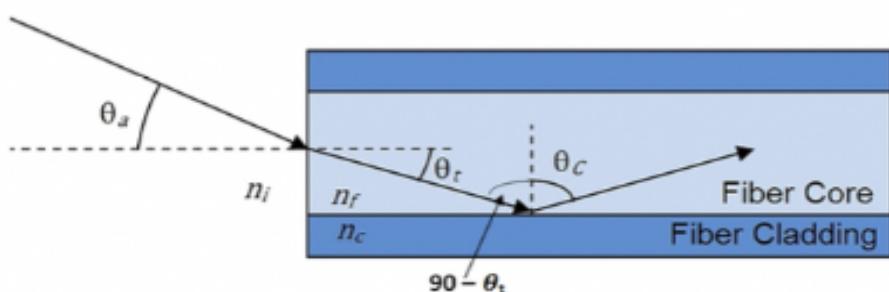
Оптичното влакно се състои от два различни вида твърдо стъкло (силициев диоксид) с висока чистота - сърцевина и обвивка, които са смесени със специфични елементи, наречени допанти, за да се регулира техният коефициент на пречупване. Разликата между коефициентите на пречупване на двата материала води до това, че по-голямата част от преминаващата

светлина се да се отразява от обвивката и да остава в сърцевината.

Изискването за критичен ъгъл се постига чрез контролиране на ъгъла, под който светлината се вкарва във влакното, показано на Фиг. 1.8., където θ_a е ъгълът на приемане.

Това е максималният ъгъл на лъча (спрямо оста на влакното), попадащ в сърцевината на влакното, който позволява на падащата светлина да бъде насочена от сърцевината.

Двата или повече слоя защитно покритие около на облицовката гарантират, че стъклото може да се обработва, без да бъде повредено [1].



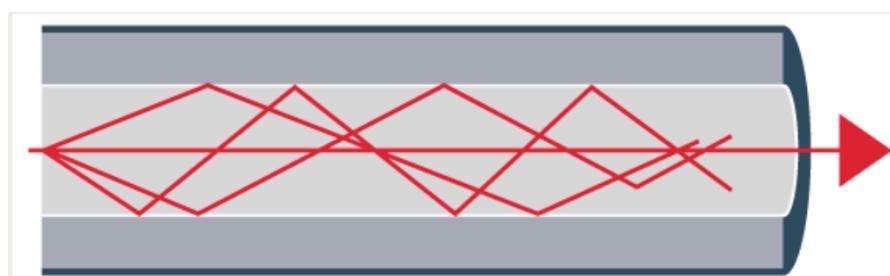
Фиг. 1.8. Ъгъл на приемане в оптичното влакно

Два основни вида оптични влакна се използват в днешно време – многомодови и едномодови.

1.6.1. Многомодови оптични влакна

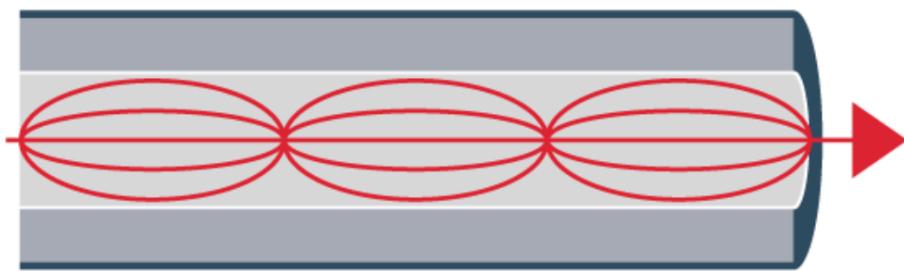
Мултимодовото влакно е първият тип влакно, което е пуснато на пазара, има по-голяма сърцевина от едномодовото

влакно. То се нарича мултимодово, защото множество режими или светлинни лъчи могат да се пренасят едновременно, показано на Фиг. 1.9. В цялата сърцевина има еднакъв индекс на пречупване. По този начин има стъпка в индекса на пречупване там, където се свързват сърцевината и обвивката. Това несъответствие между времето, в което светлинните лъчи се нарича модална дисперсия [2].



Фиг. 1.9. Мултимодово влакно

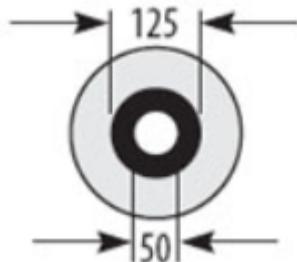
За да се компенсира тази дисперсия, се използва влакно с индекс на пречупване, който постепенно намалява от центъра на сърцевината навън и се нарича градиентен, показано на Фиг. 1.10. Това е и причината многомодовите влакна не се използват в дълги разстояния.



Фиг. 1.10. Мултимодово влакно с градиентен индекс на пречупване

Диаметърът на сърцевината на многомодовото влакно обикновено е 50 μm или 62,5 μm , което му позволява да има

по-висока способност за "събиране на светлина" (Фиг. 1.11.). Диаметърът на обвивката на многомодовото влакно е 125 μm.



Фиг. 1.11. Обвивка и сърцевина на мултимодово влакно

Поради големия размер на сърцевината на многомодовото влакно, в многомодовите оптични кабели се използват източници на светлина като светодиоди (LED) и VCSEL (вертикални кухини на лазери, излъчващи светлина), които работят при дължини на вълната 850 nm и 1300 nm. Според стандарта TIA-598C многомодовото влакно е покрито с оранжева или синя обвивка.

1.6.2. Едномодови оптични влакна

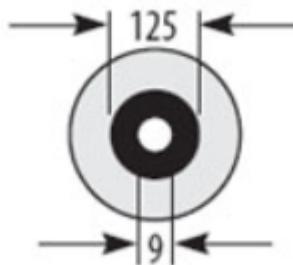
Вторият вид влакна, едномодовите, имат много по-малка сърцевина. Едномодовите влакна поддържат само един режим на светлината. В резултат на това сигнала се запазва по-добре на по-големи разстояния, а модалната дисперсия е значително намалена. Тези фактори допринасят за по-високия капацитет на честотната лента, на който са способни многомодовите влакна. Поради големия си капацитет за пренос на информация и ниски вътрешни загуби, едномодовите влакна са предпочитани за по-дълги разстояния и за технологии като DWDM. Ядрото на

влакното на едномодовия кабел е много тясно, така че светлината, която преминава през тези оптични кабели, не се отразява много пъти, което свежда затихването до минимум, показано на Фиг. 1.12 [2].



Фиг. 1.12. Разпределение на светлината в едномодово влакно

Диаметърът на сърцевината на едномодовото влакно е много по-малък от този на многомодовото влакно. Типичният диаметър на сърцевината му е 9 μm , Фиг. 1.13. Диаметърът на обвивката на едномодовото и многомодовото влакно е 125 μm . Според стандарта TIA-598C едномодовият кабел е покрит с жълта външна обвивка.



Фиг. 1.13. Обвивка и сърцевина на едномодово влакно

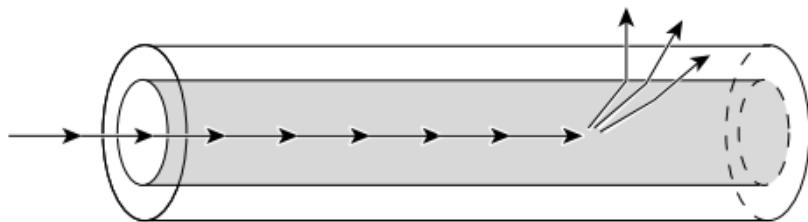
1.6.3. Затихване

Затихването в оптичното влакно се дължи на вътрешни фактори, предимно на разсейване и погълщане, и на външни

фактори, включително стрес от производствения процес, околната среда и физическо огъване [1].

Поглъщането описва процеса на поглъщане на светлинната енергия в стъклото от естествени примеси, като например водородни йони. Вътрешното поглъщане е проблем при по-дълги дължини на вълните и се увеличава драстично над 1700 nm.

Втората форма е разсейване, обикновено наричано "Разсейване на Рейли", (Фиг. 1.14). Това се случва, когато естествените дребни частици, които се появяват при изстиването на стъклото, във влакното разсейват светлинната енергия.



Фиг. 1.14. Разсейване на Рейли

Тъй като затихването е почти неизбежно при инсталирането на оптична мрежа, неизбежно има стойности на естествени загуби. За да се оптимизират тези стойности, някои видове влакна имат максимални стойности на затихване или загуби, за да се предотврати по-нататъшно намаляване на оптичната мощност. Ако загубата на сигнал е твърде висока, това ще се отрази отрицателно на работата на оптичното влакно. Типичните стойности на загубите за вътрешно затихване за едномодовите влакна са приблизително 0,40 dB/km при 1310 nm и 0,30 dB/km

при 1550 nm. За многомодовите влакна стойностите са малко по-високи – около 3,50 dB/km при 850 nm и 1,50 dB/km при 1300 nm.

1.7. Видове едномодови кабели, използвани в DWDM мрежите

Заради търсенето на по-голям капацитет на предаване на дълги разстояния, едномодовите кабели са проектирани с шест различни версии: G.652, G.653, G.654, G.655, G.656, G.657. От тях най-използвани в WDM мрежите са G.652 и G.655 [3].

1.7.1. G.652

G.652 се определя като стандартен едномодов кабел. Има G.652A, B, C и D четири версии. G.652A и B имат нулева дисперсия при дължина на вълната 1310 nm, което го прави естествено подходящ за работа в обхвата 1310 nm. Те обаче не са подходящи за приложения при мултиплексиране с разделяне на дълчината на вълната (WDM) поради воден пик. Обхватът на предаване е ограничен от дълчината на вълната с най-голямо затихване. Резултатът е спецификация за 1383 nm, която е в диапазона 0,32 – 0,34 dB/km.

Това поддържа експоненциалното нарастване на честотната лента, което се случва във всички мрежи днес. По-усъвършенстваните C и D са оптимизирани с елиминиране на водния пик за работа в спектъра, което ги прави ефективни при дължина на вълната между 1310 до 1550 nm, за да поддържат

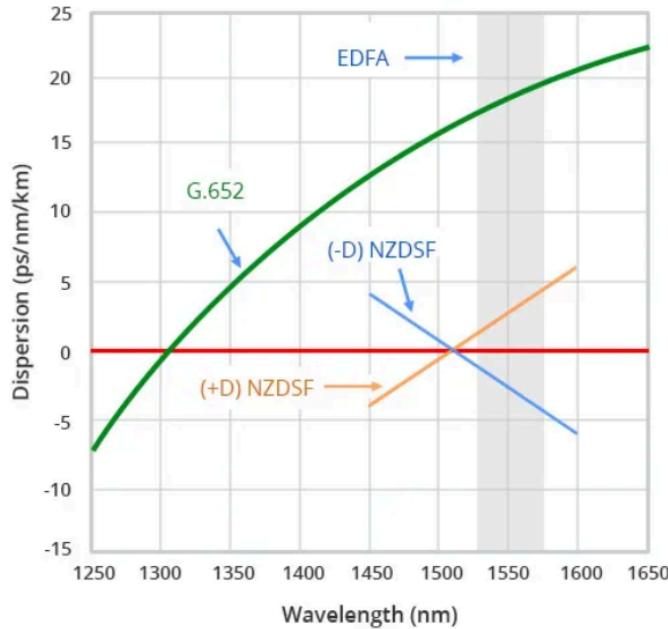
мултиплексиране с грубо разделяне по дължина на вълната (CWDM). Влакната с намален воден пик (RWP) се считат за пълен спектър, тъй като намаляването на загубата в спектралната област на абсорбция на вода позволява предаване в тази неизползваема преди това част от спектъра.

Сравнявайки G.652C, едномодовото влакно G.652D има добър параметър на PDM (дисперсия на поляризационния режим), за което G.652D е известно като стандартно едномодово влакно (SSMF) и обикновено се използва за поддръжка на 10GbE и 40GbE система.

1.7.2. G.655

G.655 е известно като влакно с ненулева дисперсия (NZDSF), тъй като дисперсията при дължина на вълната 1550 nm е близка до нула, но не е нула. То се разделя допълнително на три подкатегории A, B и C. Съществуват два вида NZDSF: (+D)NZDSF и (-D)NZDSF, чиято дисперсия е съответно пропорционална и обратно пропорционална на дължината на вълната. Сред тях положителната дисперсия на G.655 преодолява нелинейните ефекти в WDM системата, като например смесването на четири вълни (FWM), поради голямата ефективна площ. G.655 е специфициран за 1550 nm и 1620 nm и има ниска стойност на хроматичната дисперсия в C-прозореца (1530 -1660 nm), в който усилвателят с влакно с добавка на ербий (EDFA) усилва оптичните сигнали, показано на Фиг. 1.15. Това съответствие дава на G.655 предимство пред G.652. Влакното G.655 е подходящо за DWDM система, защото е подходящо за нарастващия капацитет на

предаване и за WDM система за предаване на дълги разстояния с голям капацитет.



Фиг. 1.15. Графика за разликата между G.652 и G.655

1.8. Оптични конектори

Оптичният конектор е прецизно свързващо устройство, което бързо съединява оптични кабели, като позволява по-бързо свързване и разединяване, отколкото заварката на оптичното влакно. Конекторът позволява на светлината да преминава по кабела без прекъсване.

През оптичния конектор се предават светлинни сигнали и вместо на електрически поради това изискването към него е да бъде много по-прецизен. Оптичните конектори с ниски загуби при внесено затихване, най-добра повторяемост при внесено

затихване, високи загуби при върнато затихване и дълъг живот на работа. Съществуват много различни видове конектори [26].

1.8.1. SC конектор

SC (стандартен конектор, абонатен конектор) е оптичен конектор, пуснат от NTT в средата на 80-те години на миналия век. Конекторът представлява квадратен съединител с просто движение "push-pull", подобно на механизма "push-pull" на обикновените аудио- и видео кабели, показано на Фигура 1.16. Той използва ферул с диаметър 2,5 mm, два пъти по-голям от размера на LC конектора. Той широко се използва в областта на оптичните влакна.



Фиг. 1.16. SC конектор

1.8.2. LC конектор

LC означава "Lucent Connector". Както и името, той е разработен от Lucent Technologies. Конекторът LC е с 1,25 mm накрайник (Фигура 1.17.) Този конектор с малък форм-фактор е идеален за приложения с висока плътност.



Фиг. 1.17. LC конектор

1.8.3. FC конектор

FC означава "ferrule connector". Това е първият конектор за оптични влакна, който използва керамичен ферул. Въпреки това, за разлика от SC и LC с пластмасови корпуси, той използва кръгъл винтов фитинг, изработен от никелирана или неръждаема стомана, показано на Фигура 1.18. Крайната страна на FC конектора за оптични влакна се поставя с помощта на ключ за подравняване и след това се завинтва в адаптера/жака с помощта на цангата за влакна. Въпреки допълнителната сложност на производството и монтажа, FC конекторите все още предлагат възможности за прецизни инструменти като OTDR. Освен това FC конекторът е подходящ за приложение в среди с висока вибрация, тъй като осигурява стабилно напасване.



Фиг. 1.18. FC конектор

1.8.4. ST конектор

AT&T разработва и лицензира конектора за оптични влакна ST (Straight Tip) малко след въвеждането на конектора FC. Той се отличава с байонетен монтаж и дълъг цилиндричен 2,5 mm керамичен ферул за задържане на влакното (Фигура 1.19.). Тъй като ST е с пружина, трябва да се осигури, че са поставени правилно.



Фиг. 1.19. ST конектор

1.8.5. МРО конектор

Многовлакнестите конектори (MPO) са оптични конектори, които събират много влакна в един конектор. Макар да се дефинират като масивен конектор с повече от 2 влакна, MPO конекторите обикновено се предлагат с 8, 12 или 24 влакна за обичайните приложения в центрове за данни и локални мрежи. Предлагат се и други бройки влакна, например 32, 48, 60 или дори 72 влакна, но те обикновено се използват за специални масиви от много влакна със супер висока плътност в широкомащабни оптични комутатори (Фиг. 1.20.).



Фиг. 1.20. МРО конектор

1.8.6. MU конектор

Конекторът MU (Miniature Unit Coupling) е разработен от NTT, също като Mini-SC. Но за разлика от SC, MU конекторът има 1,25 mm циркониев ферул. Той използва прост push-pull дизайн, компактен миниатюрен корпус и механизъм за самозадържане. Показан е на Фигура 1.21.



Фиг. 1.21. MU конектор

1.8.7. E2000 конектор

Diamond SA разработва конектора E2000, показан на Фигура 1.22. Наричан още LSH конектор, той е снабден с пружинен затварящ механизъм, който предпазва ферула от прах и лазерни лъчи. Оптичният конектор E2000 има еднокомпонентна конструкция за лесно и бързо термириране и е подходящ за приложения с висока степен на безопасност и мощност.



Фиг. 1.22. E2000 конектор

1.9. Оптични усилватели

Оптичните усилватели се използват, за да се намали загубата на сигнала, защото за да се предават сигнали на големи разстояния (>100 км), е необходимо да се компенсират загубите на затихване във влакното. Преди появата на оптичните усилватели (ОУ) е трябвало да има ретранслатор за всеки предаден сигнал и така нареченото оптико-електрическо-оптично преобразуване (O/E/O). Оптичните усилватели позволяват да се усилват всички дължини на вълните едновременно. Те могат да се използват и за увеличаване на мощността на сигнала след мултиплексиране или

преди демултиплексиране, защото и двете водят до загуба на сигнала. Съществуват три основни вида оптични усилватели [2].

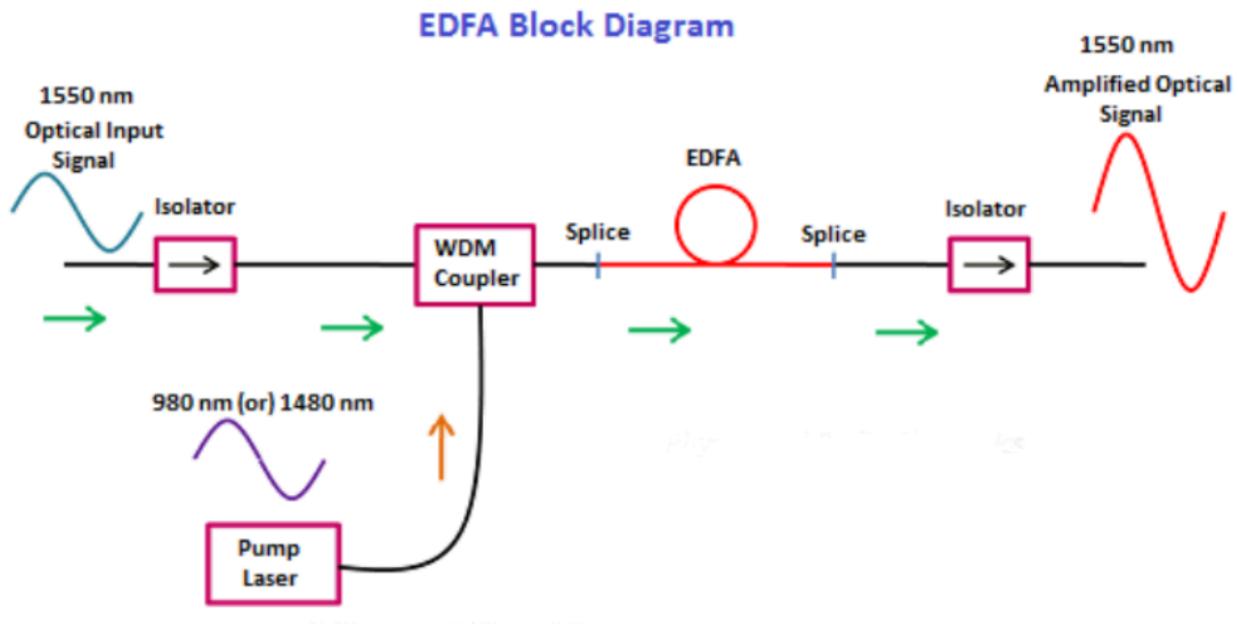
1.9.1. Усилватели с влакна, легирани с ербиеви йони (EDFA)

EDFA усилвателите имат основно значение в оптичните комуникации, най-вече заради свойствата на ербия като материал. Ербият е редкоземен елемент, който при възбудждане излъчва светлина с дължина около 1540 nm - ниска загуба за дължина на вълната за оптичните влакна, използвани в DWDM. EDFA е устройство с оптична помпа, така че енергията се подава от оптичен източник (лазерен диод), който вкарва енергия в легираното влакно с дължина на вълната, съответстваща на характеристиките на ербия (980 или 1480 nm). Изпомпването може да бъде в прива, обратна или двупосочна посока. Изпомпването обикновено се свързва в предавателното влакно чрез селективно вмъкване на оптичното влакно с дължина на вълната (WSC). Усиливането става чрез прехвърляне на мощност от помпената вълна към сигналната вълна, докато тя се разпространява по легираното влакно.

Ключовите параметри на оптичните усилватели са усилване, плоскост на усилването, ниво на шума, изход и мощност. Обикновено EDFA могат да постигнат усилване от 30 dB или повече и изходна мощност от +17 dB или повече. Важните параметри при избора на EDFA обаче са нисък шум и плосък коефициент на усилване. Усиливането трябва да бъде равномерно защото всички сигнали трябва да бъдат усилвани равномерно.

Докато усилването на сигнала, осигурено от технологията EDFA е присъщо зависима от дълбината на вълната, тя може да бъде коригирана с филтри за изравняване на усилването. Такива филтри често са вградени в съвременните EDFA.

Ниският шум е изискване, тъй като шумът се усилва заедно със сигнала. Тъй като този ефект е и не може да бъде филтриран, съотношението сигнал/шум е крайният ограничаващ фактор в броя на усилвателите, които могат да бъдат обединени, и следователно дълбината на една оптична връзка. На практика, сигналите могат да се движат на разстояние до 120 km между усилвателите. При по-големи разстояния от 600 до 1000 km сигналът трябва да се регенерира. Това е така, защото оптичният усилвател само усилва сигналите и не изпълнява функциите 3R (преоформяне, преизчисляване, препредаване). EDFA се предлагат за C-прозорец и L-прозорец. На Фиг. 1.23. е показано как в един EDFA усилвател част от влакното се легира с ербиеви иони. Допълнителна лазерна мощност при 980 nm и/или 1480 nm се подава чрез вмъкване към оптичното влакно. Взаимодействието между ербия и помпения лазер води до излъчване на светлина в спектъра на C-прозореца, което въвънност усилва сигнала.

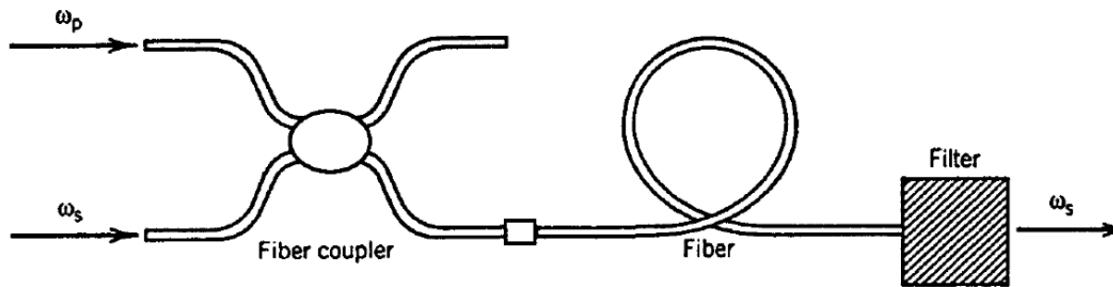


Фиг. 1.23. Принцип на работа на EDFA

1.9.2. Раманов усилвател

Рамановите усилватели (фигура 1.24.), базирани на влакна, използват стимулираното Раманово разсейване (SRS), което се наблюдава в силициевите влакна. На следващата фигура е показано как едно влакно може да се използва като Раманов усилвател в конфигурация с директно изпомпване. Помпеният и сигналният лъч с честоти ω_p и ω_s се вкарват във влакното чрез влакнест куплунг. По време на процеса на стимулираното Раманово разсейване фотонът на помпата отдава енергията си, за да създаде друг фотон с намалена енергия на сигналната честота; останалата енергия се поглъща от материала на силициевия диоксид под формата на молекулни вибрации (оптични фонони). Енергията се прехвърля непрекъснато от помпата към сигнала

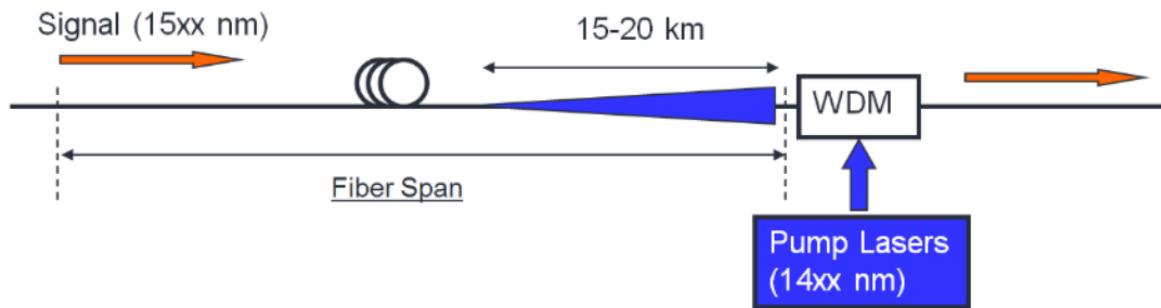
чрез SRS, като двета лъча се разпространяват съвместно във влакното. В често използваната в практиката конфигурация с обратно изпомпване лъчите на помпата и на сигнала се разпространяват насрещно. Ефективността на усилването силно зависи от инсталацията на влакното. Ефективността на усилването зависи в голяма степен от загубите между модула и обхвата на влакното.



Фиг. 1.24. Раманов усилвател

Усилването на Рамановия усилвател зависи от поляризацията. Коефициентът на усилване за е с един порядък по-висок, отколкото в ортогонално поляризирания случай. Поляризационната зависимост се смекчава от усредняващия ефект на дисперсията на поляризационните режими във влакното и може да бъде заобиколена чрез използване на помпа с поляризационно разнообразие или на единична деполяризирана помпа. На Фиг. 1.25. е показано как Рамановото усилване се появява в първите 15-20 км от дължината на влакното. Осигурява средно 255 mw мощност на помпата при всяка дължина на вълната с обща мощност над 1 W. Рамановият

усилвател се състои от RAM модул + оптичен участък. RAM модулът е източник на помпена мощност.



Фиг. 1.25. Раманово усилване

Важна разлика между Рамановите усилватели и EDFA е, че енергийните нива на, които определят профила на усилване на EDFA, са фиксираны, като по този начин се фиксира позицията на усилвателната лента на устройството, както и възможните честоти на помпата. Прозорецът на усилване на EDFA е фиксиран в близост до 1530 nm - средата на С-прозорецът - което е основната причина за нейното значение в оптичните комуникации, но ограничава гъвкавостта при използването на други прозорци за предаване в оптичните влакна.

За разлика от това, при Рамановите усилватели само разликата между честотите на помпата и сигнала (диапазон с център около 13 THz) е фиксирана от физиката на процеса и може да се използва всяка честота на помпата. Промяната на честотата на помпата автоматично променя вълновата лента, в която се извършва усилването. По този начин прозорецът на усилване може да бъде центриран на всяка желана честота в прозореца на предаване на оптичното влакно чрез подходящо

регулиране на честотата на помпата. Освен това при една помпа честотната лента на усилване е голяма (около 6 THz) и този прозорец може да бъде разширен чрез наслагване на няколко помпи с различни честоти. Това превръща Рамановия усилвател в отличен инструмент за разширяване на използваемата честотна лента на WDM системите за предаване на дълги разстояния отвъд С- и L-диапазоните до S- и U-диапазоните.

1.9.3. Разлики между Рамановите усилватели и EDFA

Както EDFA, така и Рамановите усилватели се характеризират с висок коефициент на усилване, ниска шумова характеристика и висока изходна мощност. При Рамановите усилватели усилването съществува във всяко влакно, независимо от типа на влакното. Дължината на вълната на усилването се определя от дължината на вълната на помпата. Теоретично могат да се усилват сигнали с всякаква дължина на вълната. От друга страна при EDFA усилването е с фиксиран обхват. Работната дължина на вълната е в рамките на 1550 nm.

EDFA е стабилен и е нечувствителен към температурата. Усилването е слабо свързано с поляризацията и няма отношение към скоростта на системата и формата на данните. Рамановият усилвател е нестабилен и силно зависи от поляризацията. Използват се режим на ортогонална помпа, преходно усилване и режим на обратна помпа.

Рамановото усилване може да постигне усилване с нисък шум, което е по-добро от EDFA, но усилването е по-ниско от EDFA (около 3 ~ 15db) и изисква по-високо ниво на помпа (ват). Шумовият коефициент на Раман е от -2 до 0 dB, което е с около 6 dB по-добре от шумовия коефициент на EDFA [5].

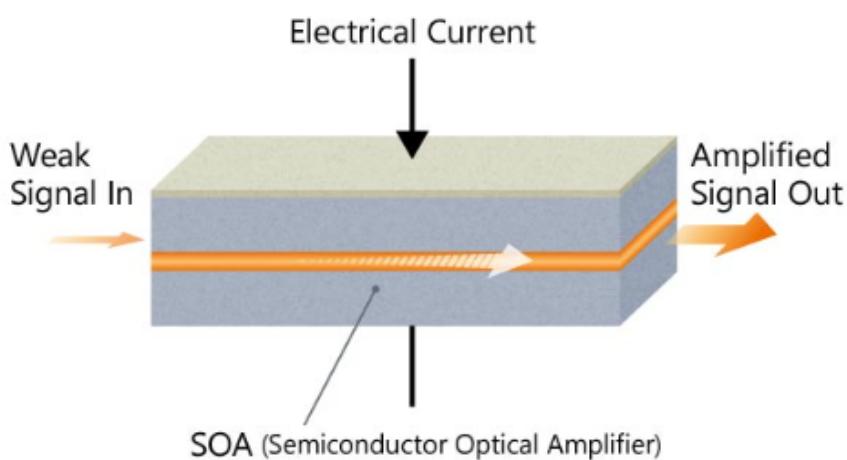
1.9.4. Полупроводникови оптични усилватели

Полупроводниковият оптичен усилвател (SOA) е лазерен диод (LD) без обратна връзка от входния и изходния си порт и затова се нарича още усилвател с пътуваща вълна. Полупроводниковите оптични усилватели (SOA) са се доказали като универсални и многофункционални устройства, които са ключови градивни елементи за оптичните мрежи.

Полупроводниковият оптичен усилвател (SOA) трябва да има най-високото усилване, подходящо за приложението. Ефектите на насищане на усилването внасят нежелани изкривявания на изхода, така че идеалният SOA трябва да има много висока изходна мощност на насищане, за да постигне добра линейност и да увеличи максимално динамичния си обхват с минимални изкривявания. Идеалният полупроводников оптичен усилвател (SOA) трябва също така да има много нисък коефициент на шум (физическата граница е 3 dB), за да се сведе до минимум мощнотта на усилената спонтанна емисия (ASE) на изхода. Накрая, идеалният полупроводников оптичен усилвател (SOA) трябва да има много ниска поляризационна чувствителност, за да се сведе до минимум разликата в

усилването между напречно-електрическото (ТЕ) и напречно-магнитното (ТМ) поляризационно състояние. Идеалният полупроводников оптичен усилвател обаче е невъзможно да се реализира поради физическите ограничения на различните процеси, протичащи в него.

На Фиг. 1.26. е представена схема на основен полупроводников оптичен усилвател. Електрическият ток, приложен отвън към полупроводниковия оптичен усилвател, възбужда електроните в активната област на предно наклонения рп-преход. Когато фотоните преминават през активната област, те могат да накарат тези електрони да загубят част от допълнителната си енергия и да генерират повече фотони, които съответстват на дълчината на вълната на първоначалните, т.нар. стимулирана фотонна емисия. вграденият вълновод се използва за ограничаване на разпространяващата се сигнална вълна до активната област. Следователно оптичният сигнал, преминаващ през активната област, се усилва и се казва, че има оптично усилване.



Фиг. 1.26. Принципна схема на полупроводников оптичен усилвател

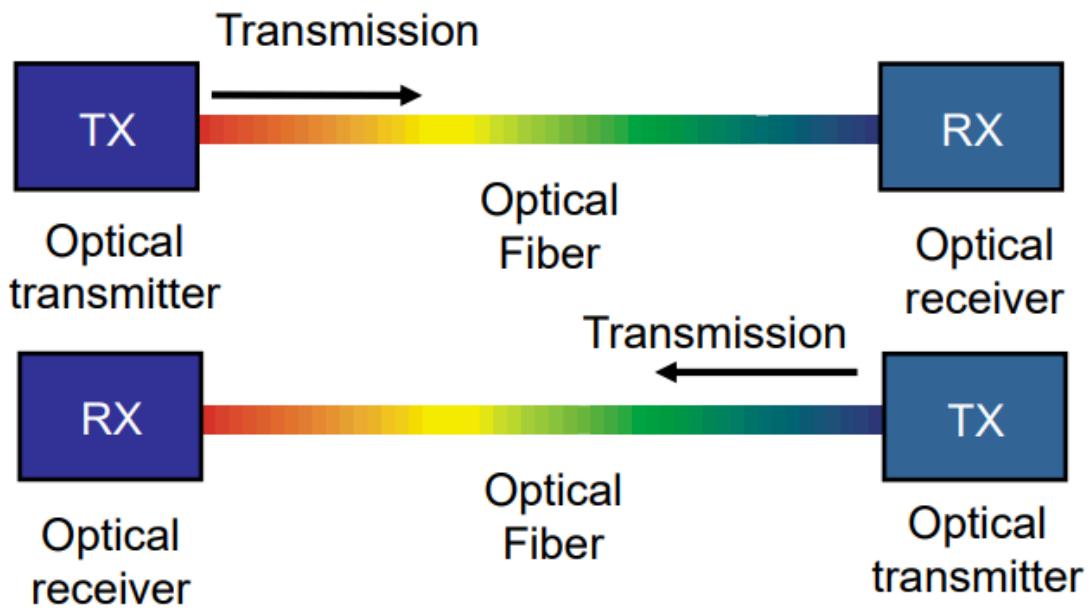
Полупроводниковите оптични усилватели имат много недостатъци, заради които не са широко разпространени в WDM мрежите. Животът на носителите във високоенергийното състояние е много кратък (от порядъка на наносекунди). Това води до ефекти на кръстосани разговори между едновременно усилваните сигнали. Поради асиметричната си геометрия полупроводниковите оптични усилватели зависи от поляризацията. Коефициентът на шум на типичния полупроводников оптичен усилвател е малко по-висок от този на типичния EDFA. Това се дължи на загубите от свързване между влакната и чипа. Най-добрите полупроводникови усилватели могат да бъдат специфицирани с поляризационно-зависимия коефициент на усилване до 0,5 dB в С-прозореца (30 nm широчина на честотната лента). Въпреки това, полупроводникови усилватели, способни да работят в CWDM, обикновено имат поляризационно-зависим коефициент от 1 dB или повече в честотна лента от 70 nm [16].

1.10. Оптични предаватели и приемници

Предавателите се описват като компоненти на DWDM, тъй като те осигуряват изходните сигнали, които след това се мултиплексират. Характеристиките на оптичните предаватели, използвани в DWDM системите, са от голямо значение за проектирането на системата. Множество оптични предаватели се използват като източници на светлина в DWDM система. Входящите електрически битове за данни (0 или 1) задействват

модулацията на светлинен поток. Лазерите създават светлинни импулси. Всеки светлинен импулс има точна дължина на вълната (ламбда), изразена в нанометри (nm). В система, базирана на оптичен носител, потокът от цифрова информация се изпраща към устройство на физическото ниво, чийто изход е източник на светлина (светодиод или лазер), който се свързва с оптичен кабел. Това устройство преобразува входящия цифров сигнал от електрическа (електрони) в оптична (фотони) форма (електрическо към оптично преобразуване, E-O). Електрическите единици и нули задействат светлинен източник, който проблясва (напр. светлина = 1, малко или никаква светлина = 0) светлина в сърцевината на оптичното влакно. Преобразуването E-O не влияе на трафика. Форматът на основния цифров сигнал остава непроменен. Светлинните импулси се разпространяват по оптичното влакно чрез пълно вътрешно отражение. В приемния край друг оптичен сензор (фотодиод) открива светлинните импулси и преобразува входящия оптичен сигнал обратно в електрическа форма. Двойка оптични влакна обикновено свързва две устройства (едно предавателно и едно приемно влакно).

Фигура 1.27 [4] [8].



Фиг. 1.27. Оптични приемници и предаватели

Системите DWDM изискват много точни дължини на вълните на светлината, за да работят без междуканални изкривявания или пресичания. Обикновено се използват няколко отделни лазера, за да се създадат отделните канали на една DWDM система. Всеки лазер работи с малко по-различна дължина на вълната. Съвременните системи работят на разстояние 200, 100 и 50 GHz. Изследват се по-нови системи, които поддържат 25 GHz разстояние и 12,5 GHz разстояние.

1.11. Оптични мултиплексори и демултиплексори

Тъй като DWDM системите изпращат сигнали от няколко източника през едно влакно, те трябва да включват някои средства за комбиниране на входящите сигнали. Това се прави с мултиплексор, който приема оптични

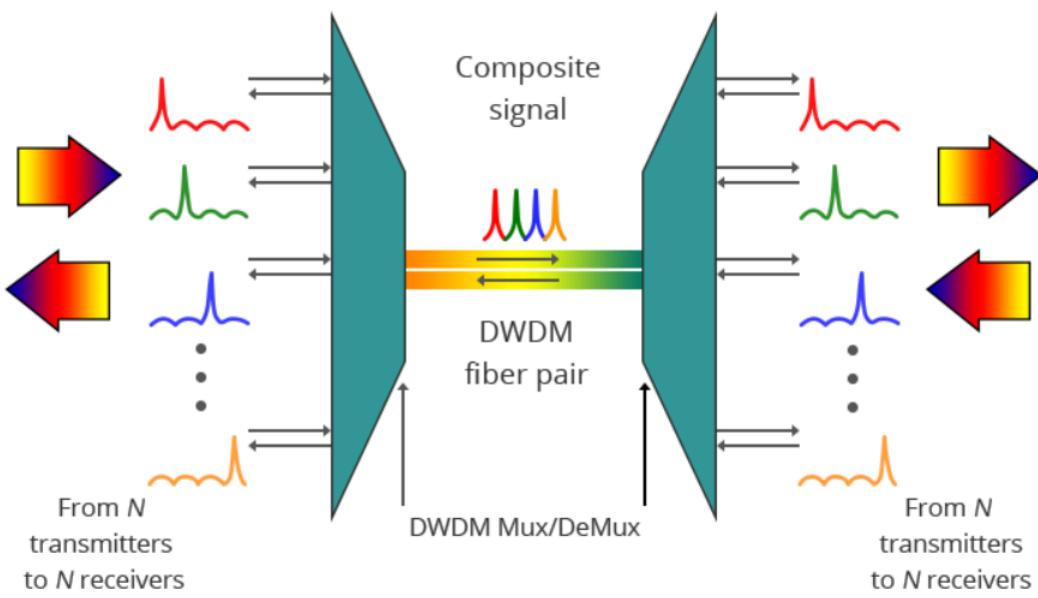
дължина на вълната от няколко влакна и ги обединява в един лъч. В приемния край система трябва да може да разделя компонентите на светлината, така че те да могат да бъдат дискретно открити.

Демултиплексорите изпълняват тази функция, като разделят приетия лъч на компонентите му с дължина на вълната и ги свързва към отделните влакна. Демултиплексирането трябва да се извърши преди откриването на светлината, тъй като фотодетекторите по своята същност са широколентови устройства, които не могат да откриват селективно една дължина на вълната.

Множество дължини на вълната (всички в диапазона 1550 nm), създадени от множество предаватели и работещи на различни влакна, се комбинират в едно влакно посредством оптичен филтър (Mix филтър). Изходният сигнал на оптичния мултиплексор се нарича съставен сигнал. В приемния край оптичен филтър (DeMix филтър) разделя всички отделни дължини на вълната на съставния сигнал към отделните влакна. Отделните влакна предават демултиплексираните дължини на вълните към оптични приемници.

На Фигурата 1.28. е показана двупосочната работа на DWDM мултиплексор. N светлинни импулса с N различни дължини на вълната, пренасяни от N различни влакна, се комбинират чрез DWDM мултиплексор. N сигнала се мултиплексират върху двойка оптични влакна. DWDM демултиплексорът получава комбинирания сигнал и отделя всеки от N-те сигнала и предава

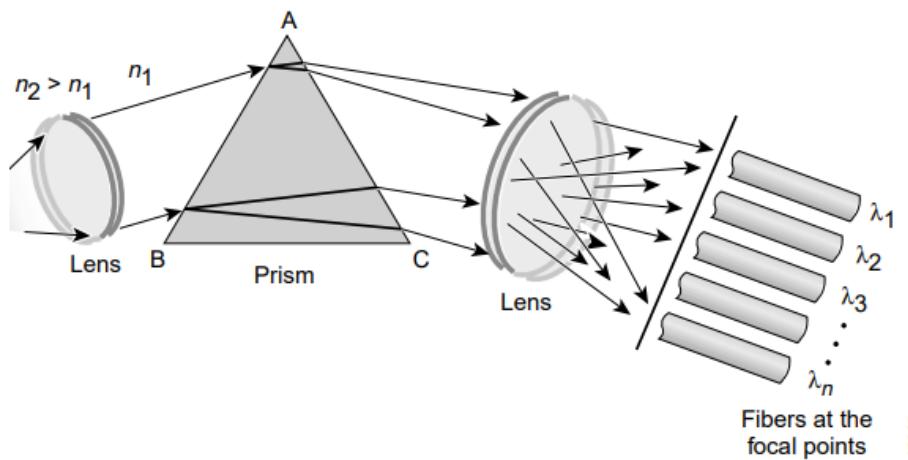
всеки от тях към едно влакно. Стрелките за предаване и приемане на сигнала представляват оборудването от страна на клиента. Това изисква използването на двойка оптични влакна: едно за предаване и едно за приемане [8] [24].



Фиг. 1.28. Принципна схема на двупосочно мултплексиране

1.11.1. Техники за мултиплексиране и демултиплексиране

С помощта на призма може да се осъществи приста форма на мултиплексиране и демултиплексиране на светлината. Фигура 1.29. демонстрира случая на демултиплексиране. Паралелен лъч от полихроматична светлина пада върху призма съставна дължина на вълната се прекупва по различен начин. Това е ефектът "дъга" [1].

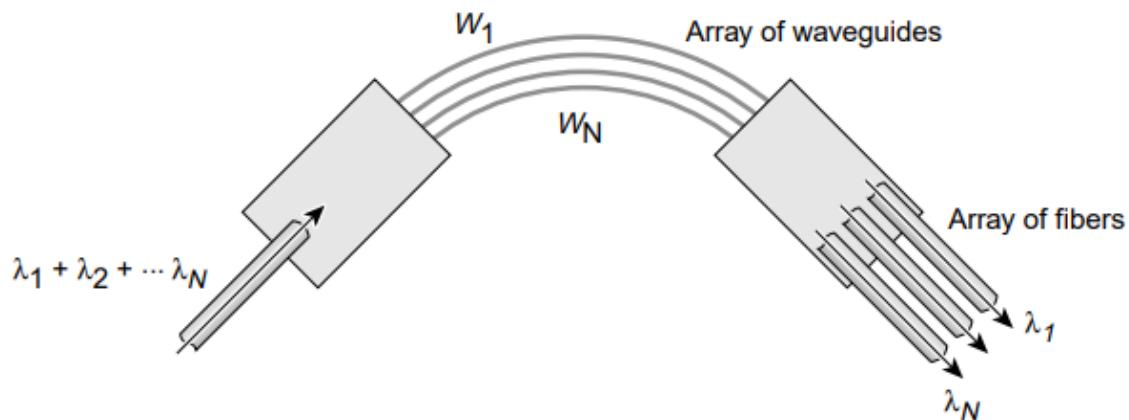


Фиг. 1.29. Демултиплексиране чрез пречупване на призмата

В изхода всяка дължина на вълната е отделена от следващата под определен ъгъл. След това, лещата фокусира всяка дължина на вълната към точката, в която трябва да влезе във влакното. Същите компоненти могат да се използват и в обратна посока за мултиплексиране на различни дължини на вълната в едно влакно.

Масивните вълноводни решетки (AWG) се основават на принципите на дифракцията. Устройство AWG, понякога наричано оптичен вълноводен маршрутизатор или вълноводен решетъчен маршрутизатор, се състои от масив от вълноводи с извити канали с фиксирана разлика в дължината на пътя между съседните канали (Фиг. 1.30.). Вълноводите са свързани с кухини на входа и на изхода. Когато светлината влезе във входната кухина, тя се разсейва и навлиза в масива от вълноводи. Там разликата в оптичната дължина на всеки вълновод внася фазово закъснение в изходната кухина, където се свързва масив от влакна. Процесът води до това, че различните дължини на

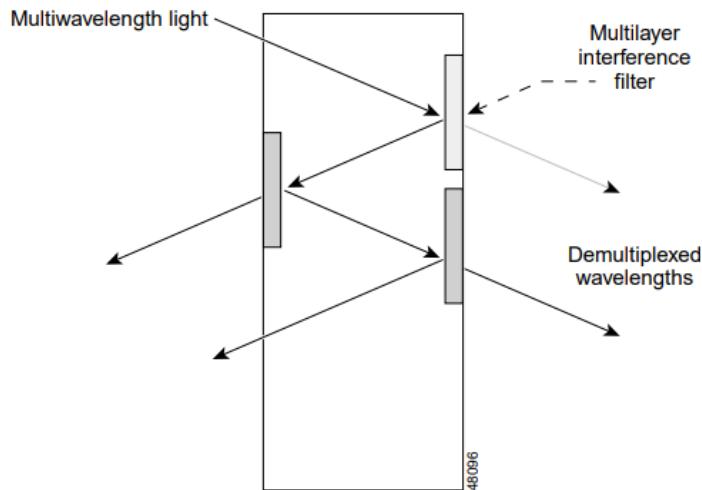
вълните имат максимална интерференция на различни места, които съответстват на изходните портове.



Фиг. 1.30. Вълноводна решетка

Друга технология използва интерферентни филтри в устройства, наречени тънкослойни или многослойни интерферентни филтри. Чрез позициониране на филтри, състоящи се от тънки филми, в оптичния път, дължините на вълните могат да бъдат сортирани (демултиплексирани).

Свойството на всеки филтър е такова, че той пропуска една дължина на вълната, докато отразява други. Чрез каскадно свързване на тези устройства могат да се демултиплексират много дължини на вълните (Фиг. 1.31.).



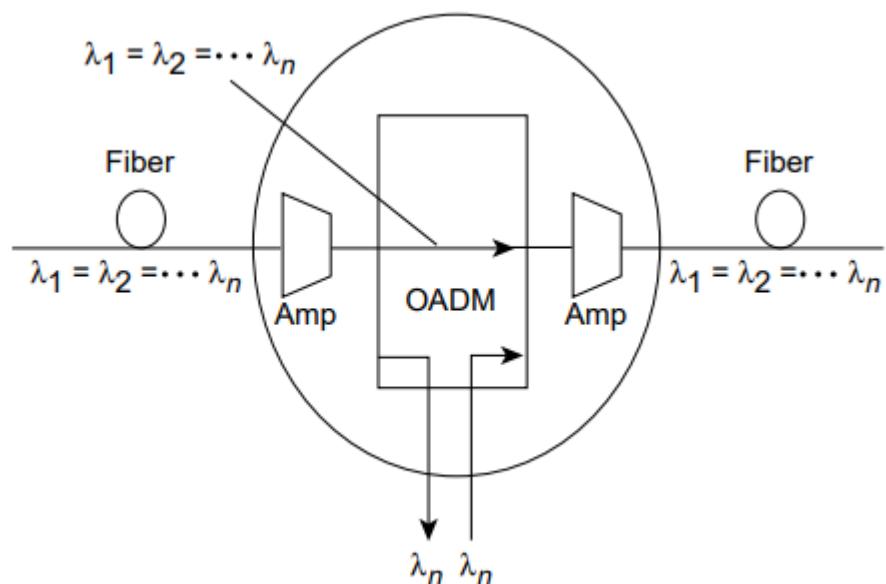
Фиг. 1.31. Интерферентни филтри

Интерферентните филтри AWG и тънкослойните филтри са широко използвани в DWDM системите. Филтрите предлагат добри стабилност и изолация между каналите на умерена цена, но с високи вмъкнати загуби. AWG зависят от поляризацията (което може да се компенсира) и се характеризират с плоска спектрална характеристика. Потенциален недостатък е, че те са чувствителни към температурата, поради което не могат да бъдат практични във всички среди. Голямото им предимство е, че могат да бъдат проектирани да извършват мултиплексиране и демултиплексиране едновременно.

1.11.2. Оптични Add/Drop мултиплексори

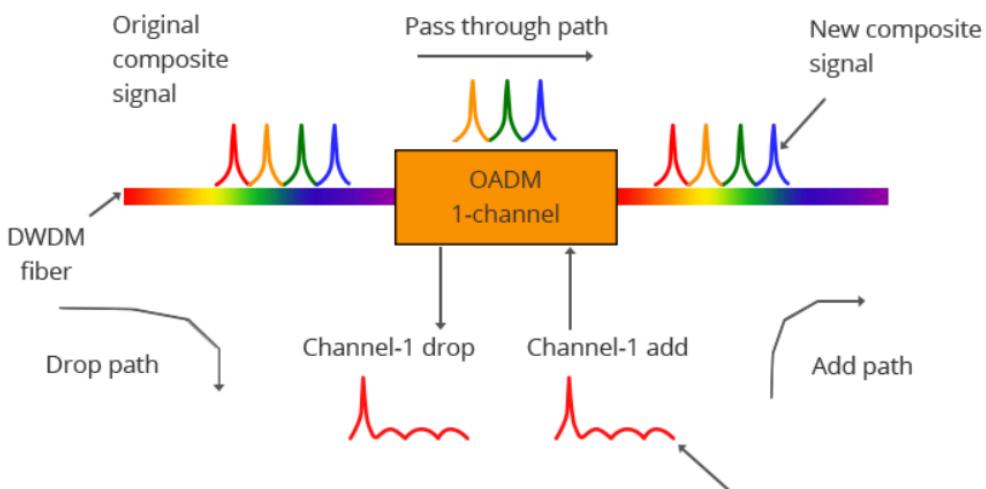
Между точките за мултиплексиране и демултиплексиране в DWDM системата има област, в която съществуват няколко дължини на вълната. Често е желателно да може да се премахне или вмъкне една или повече дължини на вълната в някоя точка на този участък. Оптичният мултиплексор за добавяне/отпадане (ROADM) изпълнява тази функция функцията. Вместо да

комбинира или разделя всички дължини на вълните, OADM може да премахне някои от тях, докато и да предава други. ROADM е ключова част от постигането на целта за изцяло оптични мрежи. ROADM добавят само оптични дължини на вълните и отпадат и не се извършва преобразуване на сигнала от оптичен в електриически. Фигура 1.32. представя схематично представяне на процеса на добавяне и премахване на дължини на вълните [1].



Фиг. 1.32.. Селективно премахване на дължини на вълните

На Фигура 1.33. е показана работата на 1-канален DWDM OADM. Този OADM е проектиран да добавя или изпуска само оптични сигнали с определена дължина на вълната.



Фиг. 1.33. 1-канален DWDM OADM

От ляво на дясно входящият съставен сигнал се разделя на два компонента - отпадане и пропускане. OADM изпуска само червения поток от оптични сигнали. Отпадналият сигнален поток се предава към приемника на клиентско устройство. Останалите оптични сигнали, които преминават през OADM, се мултиплексират с нов сигнален поток за добавяне. OADM добавя нов червен оптичен сигнален поток, който работи със същата дължина на вълната като отпадналия сигнал. Новият оптичен сигнален поток се комбинира с преминаващите сигнали, за да се образува нов съставен сигнал.

1.12. Оптични транспондери и мукспондери

В оптичните комуникации транспондерите и мукспондерите са елементите, които приемат и изпращат сигналите по влакното. Мукспондерите комбинират мултиплексни услуги с нисък капацитет в една вълна/връзка с висок капацитет. Транспондерите преобразуват оптичен сигнал

от дълчините на вълните 850, 1310, 1550 nm в конкретна DWDM дължина на вълната..

Основната разлика между мукспондерите и транспондерите е, че мукспондерите имат допълнителен капацитет за комбиниране на множество услуги в една дължина на вълната чрез мултиплексиране на няколко канала до сигнал от по-висок порядък, което позволява по-ефективно използване на дължината на вълната, отколкото транспондера.

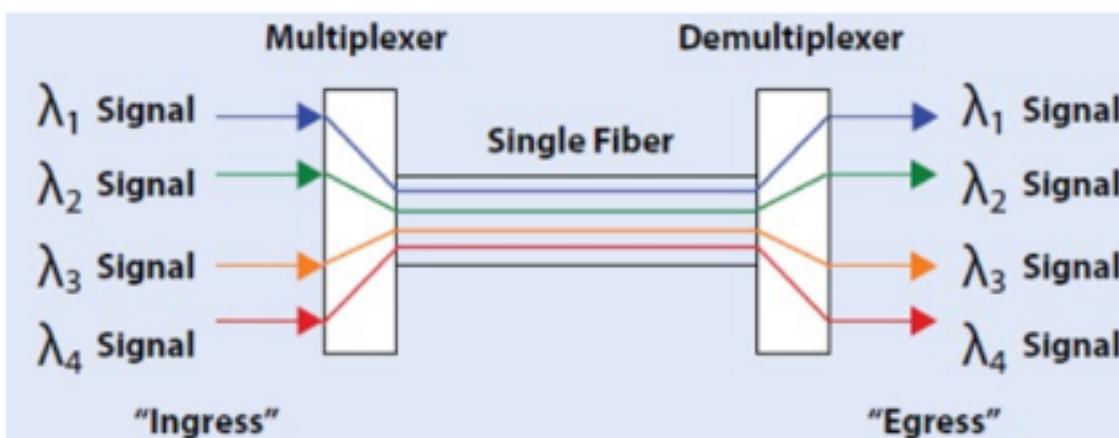
Оптичните транспондери често се използват за удължаване на разстоянието за оптично предаване чрез преобразуване на дължината на вълната. Той преобразува оптичния сигнал от страната на клиента в електрически сигнал чрез извършване на 3Rs (retiming reshaping и re-amplifying) или чрез картографирането му в оптичната транспортна мрежа и след това го преобразува обратно в оптичен сигнал към страната на линията. Извършването на 3Rs може да осигури надеждна оптична комуникационна връзка без грешки [6].

1.13. Мултиплексиране

В телекомуникациите мултиплексирането е метод, чрез който множество аналогови или цифрови сигнали се комбинират в един сигнал по обща среда. Мултиплексирането се разделя на цифрово и аналогово и съществуват няколко основни типа мултиплексиране [2].

1.13.1. Мултиплексиране с честотно разделяне (FDM)

Мултиплексирането с честотно разделяне (FDM) е техника за мултиплексиране, която означава комбиниране на повече от един сигнал върху обща среда. Този вид мултиплексиране използва аналогови сигнали. При FDM се комбинират сигнали с различни честоти за едновременно предаване. При FDM общата широчина на честотната лента се разделя на набор от честотни ленти, които не се припокриват. Всяка от тези честотни ленти е носител на различен сигнал, който се генерира и модулира от едно от изпращащите устройства. Честотните ленти са разделени една от друга с ивици от неизползвани честоти, наречени защитни ленти, за да се предотврати припокриването на сигналите. FDM работи в по-нисък честотен спектър от WDM, като радиочестоти и микровълни [7].



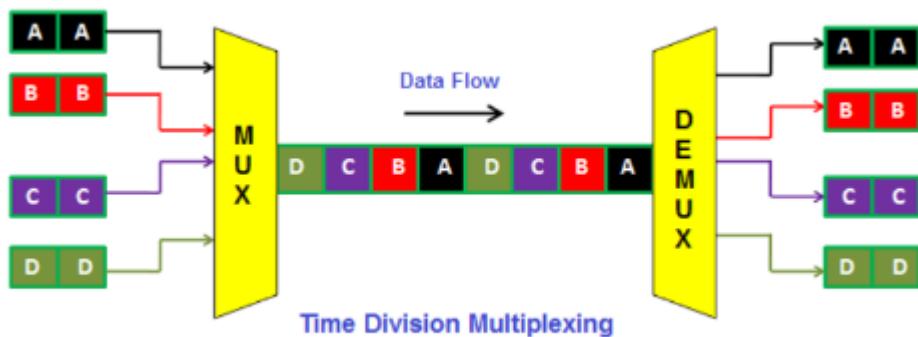
Фиг. 1.34. Мултиплексиране с честотно разделяне

Фигура 1.34. представя мултиплексирането с честотно разделяне. Тя има 4 честотни ленти, всяка от които може да пренася сигнал от 1 изпращач до 1 приемник. На всеки от 4-те

изпращачи е разпределена една честотна лента. Четирите честотни ленти се мултиплексират и се изпращат по комуникационния канал. В приемния край демултиплексор регенерира оригиналните четири сигнала като изходи.

1.13.2. Мултиплексиране с разделяне по време (TDM)

Мултиплексирането с разделяне по времето е цифрова (или в редки случаи аналогова) технология, която използва времето вместо пространство или честота, за разделяне на различните потоци от данни. TDM включва последователно подреждане на групи от няколко бита или байта от всеки отделен входен поток, един след друг, и по такъв начин, че да могат да бъдат свързани със съответния приемник. Представено е на Фигура 1.35 [27].

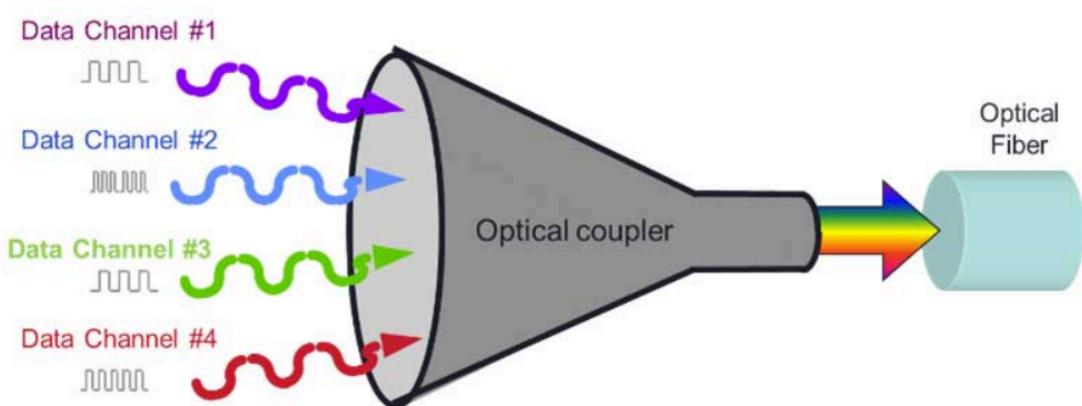


Фиг. 1.35. Мултиплексиране с разделяне по време

1.13.3. Мултиплексиране с разделяне на дължината на вълната (WDM)

Мултиплексирането с разделяне на дължината на вълната (WDM) е техника за предаване на данни по оптични влакна, която

позволява използването на множество дължини на светлинните вълни (или цветове) за изпращане на данни по една и съща среда. Два или повече цвята светлина могат да се движат по едно влакно и в оптичния вълновод могат да се предават няколко сигнала с различни дължини на вълната или честоти в оптичния спектър. Целта е сигналите да не си пречат един на друг (Фигура 1.36.) [9].



Фиг. 1.36. Мултимплексиране с разделяне на дължината на вълната

1.13.3.1. CWDM

CWDM се определя с по-малко от осем активни дължини на вълната на влакно. CWDM се използва за комуникации на къси разстояния, така че се използват широко обхватни честоти с дължини на вълните, които са разпределени на голямо разстояние една от друга. Стандартизираното разстояние между каналите е 20 nm (Фигура 1.37.) в диапазона 1270-1610 nm. Основно се използва в MAN и LAN мрежите и не е подходяща за големи разстояния. CWDM има 10 канала в областта 1310 на влакното

(1270 nm до 1450 nm) и 8 канала в областта 1550 (1470 nm до 1610 nm) [11] .



Фиг. 1.37. CWDM

1.13.3.2. DWDM

Технологията Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM) е предназначена за увеличаване на капацитета и ефективността на оптичните мрежи. Това се постига, като се позволява едновременното предаване на множество потоци от данни по едно оптично влакно, като се използват различни дължини на вълната на светлината. Името DWDM е получено от използването на по-малки разстояния между дължините на вълните (плътни), за да се поберат повече канали, като всеки канал е широк само около 0,8 nm. Подобно на CWDM, DWDM също е вид WDM технология. Въпреки това, чрез определяне на по-малки разстояния между дължините на вълните, тя може да осигури максимален брой канали и следователно има по-голям общ капацитет. Следователно може бързо да увеличи капацитета на съществуващите оптични мрежи. Обикновено използва

спектралния прозорец в диапазона от 1530 nm и 1625 nm, или по-често С-прозорец и L-прозорец, за въвеждане на 40, 88, 96 или дори 160 дължини на вълната или канали в едно влакно на оптичен кабел. Големият брой канали, с които разполага DWDM, означава, че може да се вкарат много повече данни в кабела [10].

Ключово предимство на DWDM е, че протоколът и скоростта на пренос са без значение. Мрежите, базирани на DWDM, могат да използват протоколите IP, ATM и Ethernet за предаване на данни, като обработват трафика на данни между 100Mbps, 1,25Gbps и 10Gbps. По този начин тези мрежи могат да изпращат различни видове трафик на данни по един оптичен канал с различни скорости.

В DWDM мрежите маршрутизацията се постига чрез комутатори за избор на дължина на вълната, за да се установят връзки между възли с различни дължини на вълната.

Чрез технологиите за оптично кръстосано свързване (OXC) и OADM в DWDM оптичните транспортни мрежи може да се постигне динамично преконфигуриране на оптичните канали с дължина на вълната. В същото време, в случай на повреда на предавателно устройство, прекъсване на линия и повреда на възел, повреденият канал все още може да бъде пренасочен чрез преконфигуриране на канала с дължина на вълната, така че да гарантира, че услугите от горния слой не са засегнати. Следователно оптичните транспортни мрежи с пътно мултиплексиране на дължината на вълната могат да осигурят силна устойчивост директно на нивото на оптичния път.

DWDM може да използва изобилието от тъмни оптични влакна в много метрополни райони и корпоративни мрежи, за да отговаря бързо на търсенето на капацитет на връзките от точка до точка [1] [2].

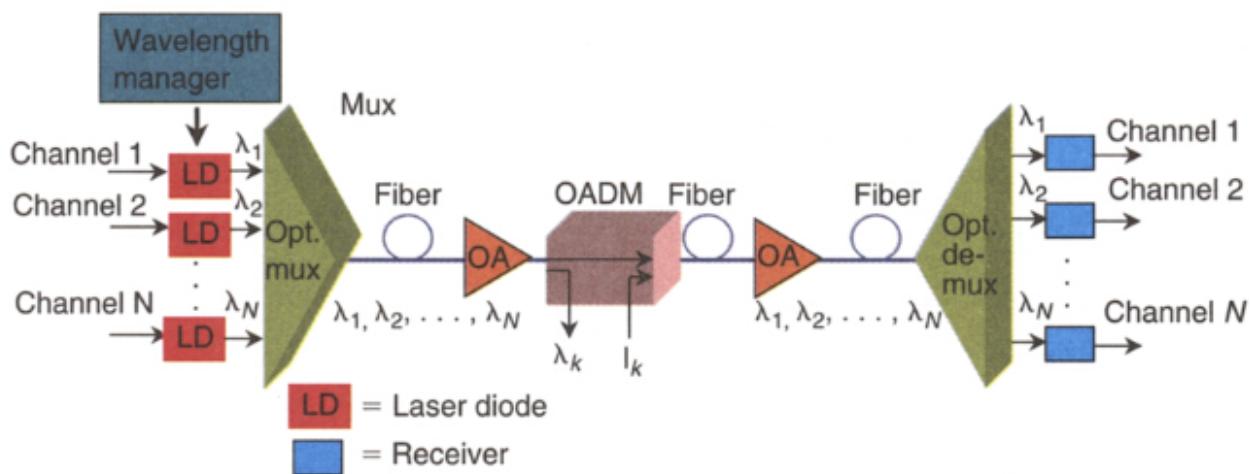
1.13.3.2.1. Видове топологии DWDM

- **От точка до точка**

Топологиите от вида "от точка до точка" могат да се реализират със или без OADM. Тези мрежи се характеризират със свръхвисоки скорости на каналите (от 10 до 40 Gbps), надеждност на сигнала и бързо възстановяване. В мрежите за дълги разстояния разстоянието между предавателя и приемника може да бъде няколкостотин километра, а броят на необходимите усилватели между крайните точки обикновено е по-малък от 10. Защитата в топологиите от точка до точка може да се осигури по няколко начина.

В първия начин, резервирането е на ниво система. Паралелните връзки свързват резервираните системи в двата края. Превключването в случай на повреда е отговорност на клиентското оборудване (комутатор или маршрутизатор, за пример), докато самите DWDM системи сами осигуряват капацитета.

При втория начин резервирането е на ниво карта. Паралелните връзки свързват отделни системи на които съдържат излишни транспондери, мултиплексори и процесори. Защитата се случва при DWDM оборудването (Фигура 1.38.) [13] [1].



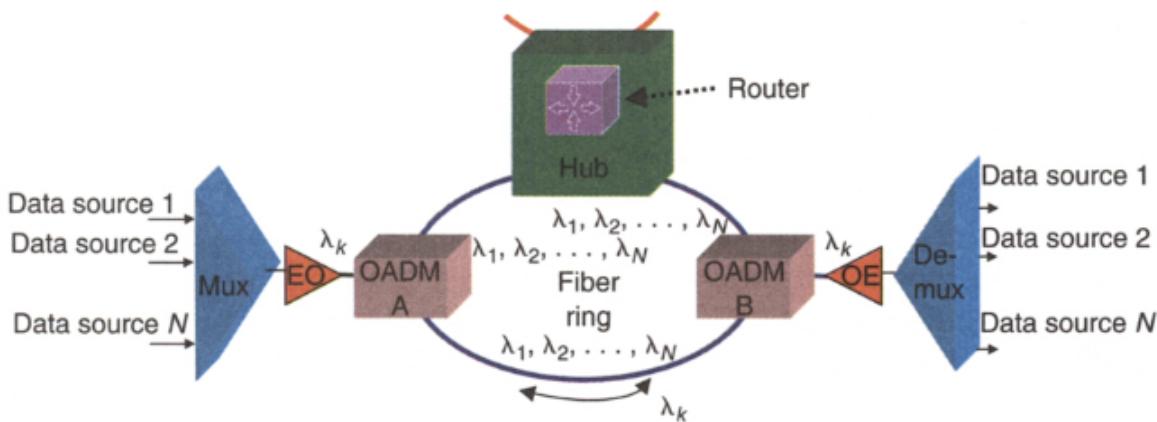
Фиг. 1.38. Топология “От точка до точка”

• Кръг

При DWDM тази топология включва влакно в кръгова конфигурация, която напълно свързва възлите. В някои системи за защита на мрежата се използват дори два кръга от влакна. Тази DWDM топология обикновено се използва в локална или метрополитна мрежа, която може да обхваща няколко десетки километра. В кръговата система DWDM могат да бъдат включени много канали с дължина на вълната и възли.

Един от възлите в кръга е станция, откъдето се получават, прекратяват и управляват всички дължини на вълните, а връзката с други мрежи се осъществява от тази основна станция. Всеки възел има оптични мултиплексори за добавяне или премахване(OADM), които добавят и премахват един или повече определени канали с дължина на вълната. С увеличаването на броя на OADM се получава загуба на сигнала и е възможно да е необходим оптичен усилвател. В кръговата топология

централната станция управлява разпределението на каналите, така че да се постигне напълно свързана мрежа от възли с OADM. Това дава възможност за свързване на други мрежи. Към възел с OADM може да се свърже DWDM мукс/демукс, за да се мултиплексират няколко източника на данни. Този вид топология е представен на Фигура 1.39 [13] [1].



Фиг. 1.39. Топология “Кръг”

1.14. Механизми за защита

Заштитата се определя като основен механизъм, използван за справяне с повреда. Той трябва да бъде много бърз (обикновено трафикът не трябва да бъде прекъсван за повече от 60 ms в случай на повреда в мрежите. В резултат на това маршрутите за защита обикновено трябва да бъдат предварително планирани, така че трафикът да може бързо да бъде превключен от основния маршрут и резервния маршрут. Поради изискванията за бързина, тази функция обикновено се изпълнява по определен начин от мрежовите елементи, без да се

разчита на централизирана структура за управление, която да координира действията по защита [9].

Схемите за защита и резервираност се справят с прекъсвания на оптични влакна, както и с повреди на крайно оборудване, например лазери или приемници.

Терминът "защита на нивото на трасето" се използва за обозначаване на схемите, които действат върху отделни канали или светлинни трасета, а "защита на нивото на линията" - за обозначаване на схемите, които действат на нивото на оптичната мултиплексна секция.

Зашитата на трасето може да се справя с повреди на един път, а защитата на линията не може.

Основните разлики между двете са по отношение на разходите и на сложността. Защитата на линията изисква един допълнителен сплитер и превключвател към незашитена система. Защитата на трасето обаче изисква по един сплитер и комутатор за канал. Още по-важно е, че защитата по трасето обикновено изисква два пъти повече транспондери и два пъти повече ресурси за мултиплексиране/демултиплексиране. Поради това защитата на пътя е почти два пъти по-скъпа от защитата на линията, ако трябва да се защитят всички канали. От друга страна, защитата на трасето позволява и да преминава трафик, който не трябва да бъде защищен .

1.14.1. Модул за резервираност (PSM)

Модулът PSM (Фигура 1.40.) изпълнява функции за защита и резервираност на каналите. Сигналът, получен на общия порт за приемане, се дублира от хардуерен сплитер към двата порта. Работните и защитните портове за предаване. В секцията за приемане (RX) на PSM картата е предвиден превключвател за избор на един от двата входни сигнала (на работните и защитните приемни портове), който да бъде да се предава през общия предавателен порт [14].

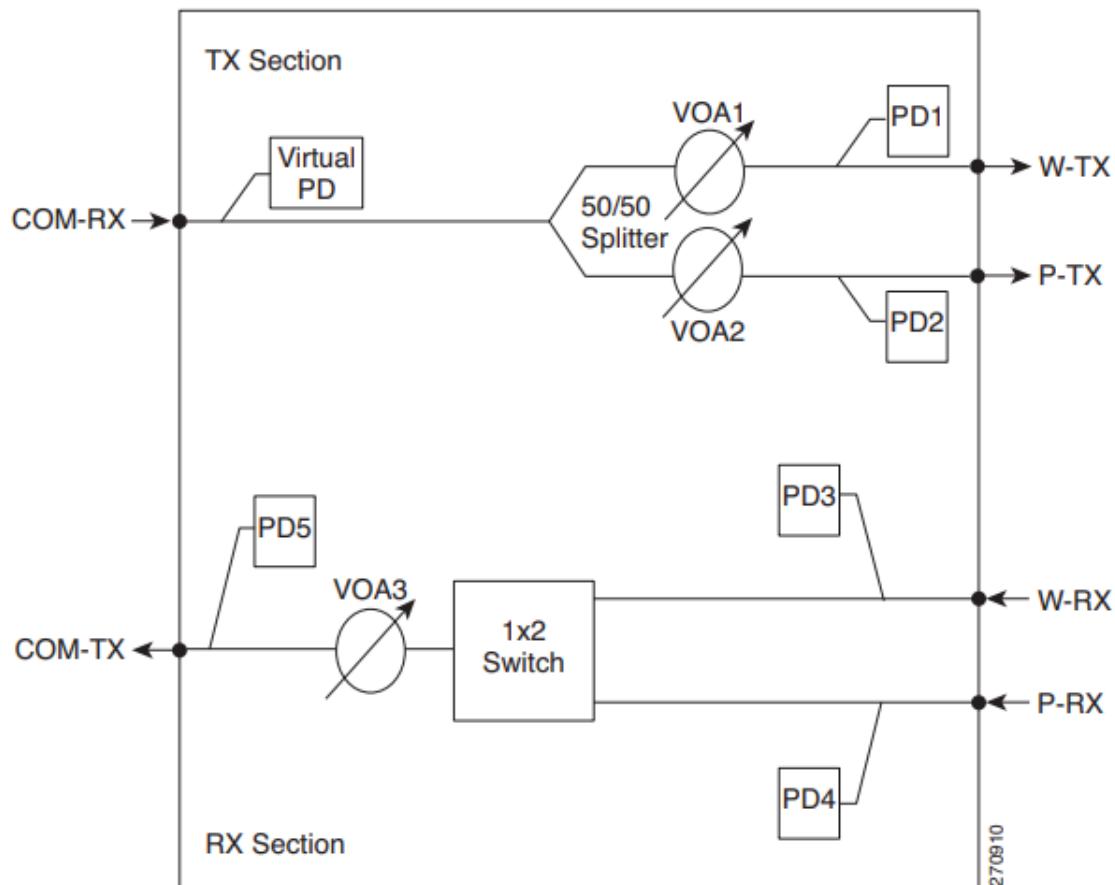


Фиг. 1.40. Карта PSM

Картата PSM поддържа множество конфигурации за защита и има следните функции:

- Защита на каналите.
- Защита на линията (или пътя) - работните (W) и защитните (P) портове на PSM са свързани директно към външна линия.
- PSM може да бъде оборудван във всеки слот и поддържа всички конфигурации на възли.

- Работи в С-обхвата (дължини на вълните от 1529 nm до 1562,5 nm) и L-обхвата (дължини на вълните от 1570,5 nm до 1604 nm) от оптичния спектър.
- Прилага двупосочна схема за защита.
- Поддържа наблюдение на производителността.
- Поддържа автоматично изключване на лазера (ALS), механизъм за безопасност, използван в случай на прекъсване на влакното. ALS се прилага само при конфигурация за защита на линията.

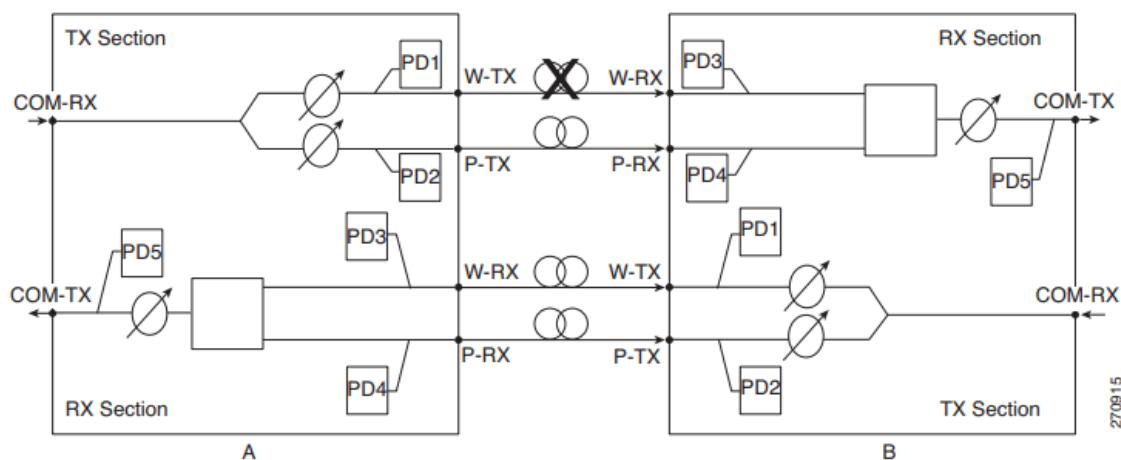


Фиг. 1.41. Блокова диаграмма на PSM

На фигура 1.41. е показано как сигналът, получен на общия порт за приемане (COM-RX), се дублира от хардуерен сплитър

към двата порта - работните (W-TX) и защитните портове за предаване (P-TX). В областта за приемане (RX) на PSM картата предвиден превключвател за избор на един от двата входни сигнала (на работните (W-RX) и защитните приемни портове (P-RX)), който да се предава през общия предавателен port.

1.14.2. Двупосочна схема на защита



Фиг. 1.42. Двупосочна схема на защита

В този пример има прекъсване на влакно в работния път от станция А до станция В, както е показано на фигура 1.42. В резултат на прекъсването на влакното на порта W-RX на станция В се задейства аларма и тя незабавно превключва трафика към своя порт P-RX. Станция В едновременно спира предаването (за приблизително 25 ms) на своя порт W-TX, което предизвиква аларма на порта W-RX. Това кара станцията А също да превключи трафика към своя порт P-RX. По този начин PSM реализира двупосочко превключване без обмен на данни между двете

станции. Тъй като двете станции не комуникират, използвайки протоколи за сигнализация.

1.15. Оптични карти

Оптичните карти в DWDM системите осигуряват високи скорости на предаване на данни, включително операции по мултиплексиране и демултиплексиране, и подобряват устойчивостта на мрежата чрез резервиране и възможност за пренасочване на трафика. Като цяло различните видове клиентски карти и друг вид оборудване допринасят значително за развитието на висококапацитетни, адаптивни и надеждни оптични комуникационни мрежи.

1.15.1. TNCS-O (OTDR)

Transport Node Controller (TNCS) картата служи като процесорна карта за възела. Осигурено е енергонезависимо съхранение на базата данни за комуникация, осигуряване и управление на системата, което позволява пълно възстановяване на базата данни и оцеляване при пълна загуба на захранване на системата. Картата включва и функции на оптичен рефлектометър с времеви обхват [15].

Оптичният рефлектометър с времеви обхват (OTDR) е устройство, което тества целостта на оптичен кабел и се използва за изграждане, сертифициране, поддръжка и отстраняване на неизправности в оптични системи. OTDR се използват широко за откриване на аномалии в оптичните влакна, като например загуби при свързване на влакна и отразяване. Обикновено уредът OTDR предава импулс по оптичното влакно.

Част от светлината на импулса се връща към предавателя от всяка точка по цялото оптичното влакно. Чрез измерване на количеството светлина, върнато обратно с дадено закъснение от инжектирането на импулса във влакното, и сравняване на този светлинен импулс с оригиналния сигнал на сондата, инжектиран във влакното, е възможно да се открият много характеристики и аномалии на влакното, като загуба на вмъкване (dB/km) и загуба на връзките между влакната и загуба на отражение (dB).

Тази техника обаче изисква лазерни импулси с относително висока пикова мощност, които не съответстват много добре на целта за интегриране на възможностите на OTDR в Cisco картата TNCS-O, показана на фигура 1.43. Поради тази причина е избран методът на корелация.

При метода на корелация вместо оптичен импулс във влакното се предава псевдо шумна последователност от битове. Отразената светлина се дискретизира спрямо времето и математически се корелира с оригиналната последователност на сондата. Подобно на импулсния метод, корелацията на предадените и приетите сигнали при дадено времево закъснение дава информация за загубите и отраженията. Методът на корелация позволява по-добро филтриране на шума, като осигурява значително предимство по отношение на шума спрямо импулсния метод (измерени 12 dB). Освен това, тъй като енергията на импулсната сонда се разпространява по протежение на потока от битове, този метод се адаптира по-добре към типичните лазери, използвани в сменяемите

интерфейси, които могат да осигурят по-ниска мощност на TX. Сигналите на OTDR работят на 1518 nm, предлагайки двупосочни операции, което позволява да се тестват и двете влакна и двете посоки на влакното с едно устройство.



Фиг. 1.43. Карта TNCS - O

1.15.2. 200G-CL-LC

200G-CL-LC (Фигура 1.44.) е клиентска карта, която пренася 200, 100 или 50 GbE в секунда в DWDM оптични мрежи. Картата разполага със софтуерно конфигурируема модулационна схема, която позволява персонализирането на спектралната ефективност и характеристиките на достигане на отделните дължини на вълната [18].



Фиг. 1.44. Карта 200G-CL-LC

1.15.3. OTU2-XP

10 GbE OTU2-XP (Фигура 1.45.) е четирипортова клиентска карта за 10 GbE транспондер, опростява интегрирането и транспортирането на интерфейси и услуги 10GbE, в предприятия или мрежи на доставчици на услуги в метрополни мрежи и регионални мрежи [22].



Фиг. 1.45. Карта OTU2-XP

1.15.4. MD-48-OOD

Пач панелът Cisco MD (Фиг. 1.46.) е 48-канален мукс/демукс и осигурява мултиплексиране и демултиплексиране на сигнали в DWDM системи. Той не изисква температурен контрол, ниска дисперсия на пач панела, съчетана с широката честотна лента, намалява натрупването на дисперсия и стесняването на честотната лента. Поради това панелът е подходящ за Ниски загуби при вмъкване на оптичното влакно. Пълно покритие на С-обхвата.



Фиг. 1.46. Карта MD-48-OOD

1.15.5. 9-SMR24FS

Едномодулните ROADM линейни карти Cisco 9-SMR24FS съчетават два селективни комутатора с дължина на вълната. Добавянето/отпадането на дължината на вълната и маршрутизацията се управляват изцяло от софтуер



Фиг. 1.47. Карта 9-SMR24FS

2. Втора Глава. Проектиране и анализиране на оптичната преносна мрежа, използвайки технологията DWDM

2.1. Изисквания към оптичната преносната мрежа

Мрежата трябва да осигури две връзки по 10GbE и две връзки по 100 GbE между всеки два съседни центъра за данни. Това ще гарантира бърз и надежден обмен на данни. Резервиран канал между три центъра: За да се гарантира непрекъсната свързаност в мрежата, е необходимо да се изгради отделен 100 GbE канал между три центъра за данни. Този канал трябва да бъде резервиран на канално ниво, което означава, че има отделен модул за резервираност. В случай на повреда на основния канал, превключването към резервния ще бъде незабавно, минимизирайки прекъсванията.

Всеки център за данни трябва да бъде оборудван с ROADM мултиплексори. Тези устройства позволяват гъвкаво добавяне и изваждане на канали, което осигурява ефективно управление на трафика и бъдеща разширяемост.

Използва се DWDM технологията за мултиплексиране на множество оптични канали с различна дължина на вълната в един оптичен кабел. Това позволява пренос на големи обеми данни на дълги разстояния с висока ефективност.

За цялото трасе на оптичната мрежата се използва едномодов оптичен кабел тип G.655. Този тип кабел е идеален за

DWDM приложения поради ниско затихване на сигнала и подходящи характеристики за дълги разстояния.

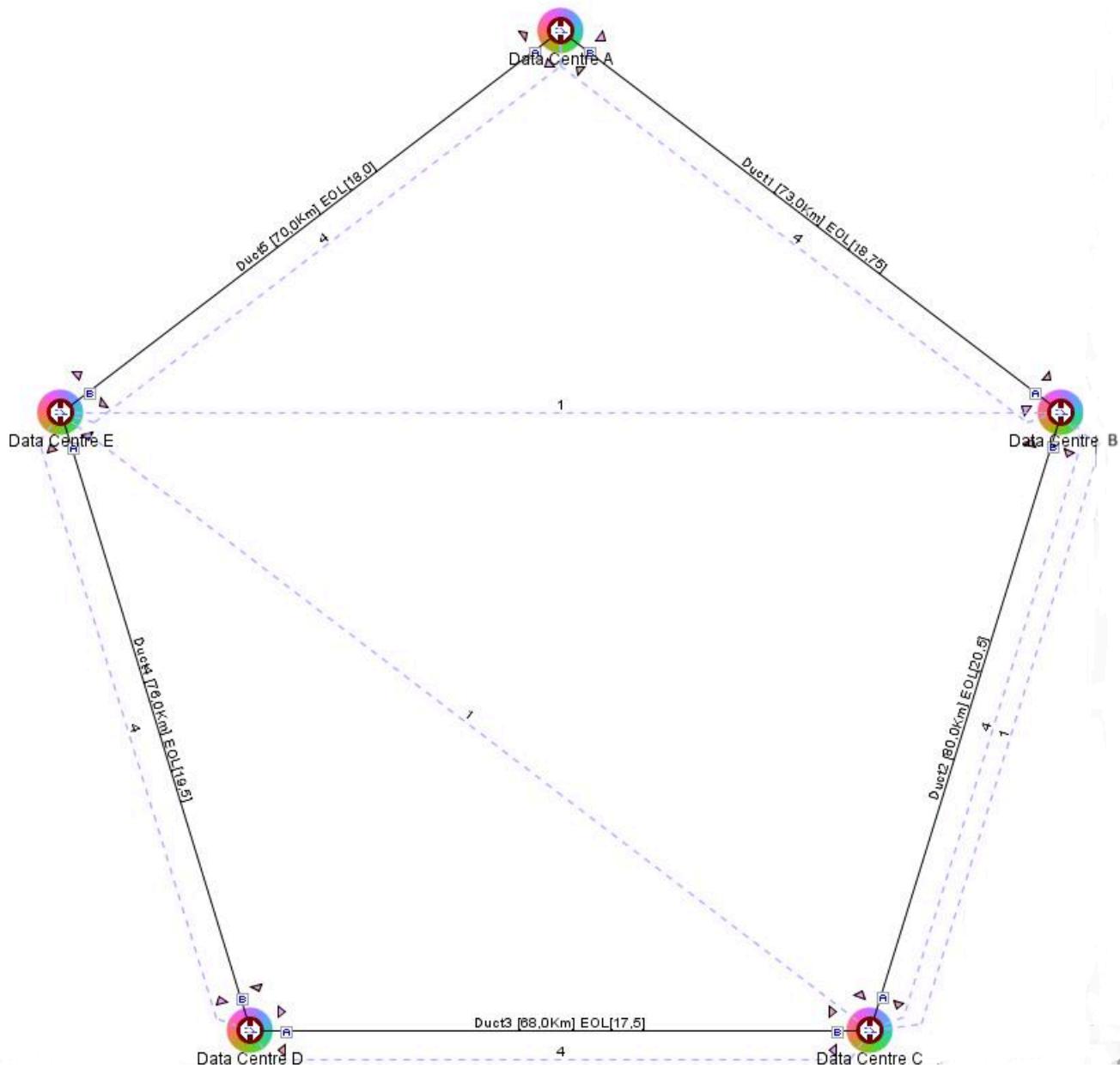
За оптимизиране на производителността, надеждността и ефективността на мрежата се използва специализиран софтуер на Cisco за оразмеряване на DWDM мрежи. Този софтуер изчислява оптималния брой канали, дължини на вълната и мощност на сигнала, като гарантира безпроблемно предаване на данни.

2.2. Топология на мрежата

На Фигура 2.1. е представена топологията на мрежата. Тя представлява кръг и включва 5 центъра за данни, които са на разстояние един от друг между 70 и 80 км. Всяка услуга е свързана директно, от точка до точка. Използван е точно този вид топология, защото в кръговата топология, която използва DWDM могат да бъдат включени много канали с дължина на вълната и възли.

Кабелът, който е използван за проектирането и реализирането на мрежата е едномодов и е от тип G.655. Влакното G. 655 е подходящо за DWDM система, защото е подходящо за нарастващия капацитет на предаване и за WDM система за предаване на дълги разстояния с голям капацитет. Този тип едномодов кабел е по-подробно представен в 1.6.2.

Фиг. 2.1. Топология на мрежата



Разстоянието на влакното между център за данни А и център за данни В е 73 км. Между център за данни В и С е 80 км. център за данни С и D са на разстояние един от друг 68 км. D и E центровете имат разстояние помежду си от 76 км и Е и А са на разстояние 70 км.

Между центровете В, С и Е е предвиден канал, който е със скорост 100GbE, който е резервиран на канално ниво чрез резервиран модул (PSM), обяснен подробно в 1.13.

Използвани са оптични мултиплексори за добавяне/отпадане на дължини на вълните, описани в т. 1.11.2.

Между всеки център за данни има по два канала, които са със скорост 10GbE и два канала със скорост 100GbE.

2.3. Симулационен софтуер за оразмеряване на DWDM мрежа

Оразмеряването на мрежата е осъществено чрез симулационния софтуерен продукт на Cisco и се нарича Cisco Transport Planner (CTP). Cisco Transport Planner е инструмент за проектиране на DWDM мрежи, който позволява ефективно дефиниране на услугата и нейната наличност, като същевременно значително опростява процеса на сравняване на алтернативни сценарии за предоставяне на услугата. Cisco Transport Planner използва най-съвременни оптични транспортни технологии, включително напълно интегрирана многостепенна ROADM технология, за да осигури оптимална DWDM инфраструктура, способна да доставя услуги "от всеки до всеки" за линейни, кръгови и мрежови мрежи. Cisco Transport Planner генерира съдържание, което е полезно както за фазите на проектиране, така и за внедряване, като например отчети за производителността на системата, генериране на списък за материали (ВоМ), графични оформления на конфигурации на

шкафове и шасита, оптични връзки между възли и изтегляне на настройки за осигуряване и конфигуриране за всеки оптичен възел.

Симулационният софтуер предоставя подробен отчет за резултатите от работата на системата. За всяка от услугите, създадени на мрежово ниво, Cisco Transport Planner дава съответните оптични характеристики, необходими за определяне дали трафикът се поддържа или не. Приложението осигурява бърза индикация с помощта на цветни икони, както и възможност за четене на пълни отчети. Тази опция може да се използва и за изготвяне на отчети за общото закъснение за определени видове услуги [12].

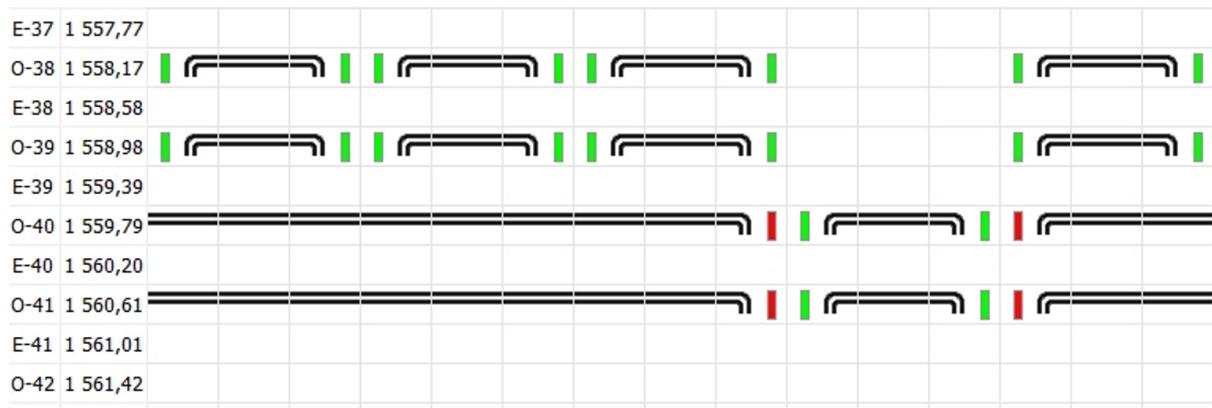
2.4. Анализ и резултати от симулация на оптичната преносна мрежа

2.4.1. Маршрутизиране на дължината на вълната

Маршрутизирането на връзка от източника до приемника е основен компонент на мрежовия дизайн. Изборът на маршрут влияе върху многобройни свойства на връзката, най-вече върху закъснението и достъпността, както и върху претоварването на мрежата. В оптичните мрежи обикновено се използва технологията за мултиплексиране с разделяне на дължината на вълната (WDM), при която на връзките се присвоява уникална дължина на вълната в определено оптично влакно и различните дължини на вълната се мултиплексират заедно в един WDM сигнал в това влакно. Изборът на дължини на вълните, които да се присвоят на всяка връзка, е процес, известен като присвояване на дължини на вълните. [17] Процесът на присвояване на дължината на вълната се състои в намиране на една дължина на вълната, която е налична за всяка от връзките. Трудността на разпределението на дължините на вълните явно зависи от два фактора: броя на връзките и нивото на използване на тези връзки. С увеличаването на броя на връзките се увеличава трудността за намиране на дължина на вълната, която е на всяка една от връзките, обикновено също се увеличава. По същия начин, с увеличаване на нивото на използване на дадена връзка, са налични по-малко дължини на вълните, като по този начин

вероятността да се намери свободна дължина на вълната намалява.

При първоначалното стартиране на симулацията при маршрутизирането на дълчината на вълната 1559,79 nm се появява червен индикатор, представено е на фигура 2.2. Този индикатор се дължи на дисперсията и това, че толерансът в оптичните резултати трябваше да е до 1100 ps.nm, а при тази връзка беше 1216 ps.nm. Трафикът се маршрутизира неправилно и се получава червеният индикатор, който сигнализира, че е възможно симулацията да не работи.



Фиг. 2.2. Първоначално маршрутизиране на дълчината на вълната

Маршрутизиране на дълчината на вълната е показано на Фигура 2.4.

#	λ	Data... B	Duct1 Cou...	Data Centre B A	Duct2 B	Data Centre C A	Duct3 B	Data Centre D Cou...	Duct4 A	Data Centre E B	Duct5 Cou...	Data... A
O-01	1 528,77											
E-01	1 529,16											
O-02	1 529,55											
E-02	1 529,94											
O-03	1 530,33											
E-03	1 530,72											
O-04	1 531,12											
E-04	1 531,51											
O-05	1 531,90											
E-05	1 532,29											
O-06	1 532,68											
E-06	1 533,07											
O-07	1 533,47											
E-07	1 533,86											
O-08	1 534,25											
O-40	1 559,79											
E-40	1 560,20											
O-41	1 560,61											

Фиг. 2.3. Правило маршрутизиране на дълчината на вълната

Следващите симулирания на оптичната преносна мрежа преминават без червени индикатори. Това се дължи на липсата на ипсата на излишен модул за резервираност и липсата на голяма дисперсия както при фигура 2.2. Наличието на излишен модул за резервираност води до това, че трафикът преминава през по-дълго разстояние и се получава по-голяма дисперсия. На фигура 2.3. са показани дълчините на вълните, които се отнасят за маршрутите. Дълчините на вълните са представени и за всеки канал в общото разпределение на шаситата (Фиг. 2.14.) и в оптичните резултати са представени стойностите на дълчините на вълните.

2.4.2. Оптични резултати

В симулационния софтуер на Cisco за симулиране на оптични преносни мрежи, се описват множество параметри след като завърши симулацията. Показват се параметрите на всеки оптичен път [21].

Таб. 2.4. Оптични резултати - 1

Name	Srv Demand	S O L	E O L	S E S	Source	Dest	Span	SOL OSNR	EOL OSNR	SOL OSNR-M	EOL OSNR-M	SOL RX	EOL RX
Data Centre E-Data Centre C/100GE 1 530,33 nm PSM-OCH	DWDM Trunk - Far End				Data Centre C.B	Data Centre E.A	144	20,20	20,20	12.2577	12.2577	-17,43	-17,43
	DWDM Trunk - Near End				Data Centre E.A	Data Centre C.B	144	20,19	20,19	12.2477	12.2477	-17,43	-17,43
Data Centre E-Data Centre C/100GE 1 530,33 nm PSM-OCH	DWDM Trunk - Far End				Data Centre C.A	Data Centre E.B	223	17,97	17,97	9.8227	9.8227	-17,43	-17,43
	DWDM Trunk - Near End				Data Centre E.B	Data Centre C.A	223	17,97	17,97	9.8227	9.8227	-17,43	-17,43
Data Centre B-Data Centre E/100GE 1 531,12 nm PSM-OCH	DWDM Trunk - Far End				Data Centre B.A	Data Centre E.B	143	20,24	20,24	12.2977	12.2977	-17,43	-17,43
	DWDM Trunk - Near End				Data Centre E.B	Data Centre B.A	143	20,24	20,24	12.2977	12.2977	-17,43	-17,43
Data Centre B-Data Centre E/100GE 1 531,12 nm PSM-OCH	DWDM Trunk - Far End				Data Centre B.B	Data Centre E.A	224,0 0	17,94	17,94	9.7927	9.7927	-17,43	-17,43
	DWDM Trunk - Near End				Data Centre E.A	Data Centre B.B	224,0 0	17,94	17,94	9.7927	9.7927	-17,43	-17,43
Data Centre C-Data Centre B/100GE 1 531,90 nm PSM-OCH	DWDM Trunk - Far End				Data Centre C.A	Data Centre B.B	80,00	21,87	21,87	14.1377	14.1377	-17,43	-17,43
	DWDM Trunk - Near End				Data Centre B.B	Data Centre C.A	80,00	21,87	21,87	14.1377	14.1377	-17,43	-17,43
Data Centre C-Data Centre B/100GE 1 531,90 nm PSM-OCH	DWDM Trunk - Far End				Data Centre B.A	Data Centre C.B	287,0 0	17,21	17,21	8.8527	8.8527	-17,43	-17,43
	DWDM Trunk - Near End				Data Centre C.B	Data Centre B.A	287,0 0	17,21	17,21	8.8527	8.8527	-17,43	-17,43

Name	Srv Demand	S L	E L	O S	S	Source	Dest	Span	SOL OSNR	EOL OSNR	SOL OSNR-M	EOL OSNR-M	SOL RX	EOL RX
Data Centre E-Data Centre A/100GE 1532,68 nm Unprotected	DWDM Trunk - Far End					Data Centre A.A	Data Centre E.B	70,00	24,51	24,51	16.71367	16.71367	-17,43	-17,43
	DWDM Trunk - Near End					Data Centre E.B	Data Centre A.A	70,00	22,40	22,40	14.77282	14.77282	-16,74	-16,74
Data Centre E-Data Centre A/100GE 1 534,25 nm Unprotected	DWDM Trunk - Far End					Data Centre A.A	Data Centre E.B	70,00	24,51	24,51	16.71367	16.71367	-17,43	-17,43
	DWDM Trunk - Near End					Data Centre E.B	Data Centre A.A	70,00	22,40	22,40	14.77282	14.77282	-16,74	-16,74
Data Centre E-Data Centre A/10GE 1 560,61 nm Unprotected	DWDM Trunk - Far End					Data Centre A.A	Data Centre E.B	70,00	24,51	24,51	15.17515	15.17515	-17,43	-17,43
	DWDM Trunk - Near End					Data Centre E.B	Data Centre A.A	70,00	22,47	22,47	13.27	13.27	-16,74	-16,74
Data Centre E-Data Centre A/10GE 1 559,79 nm Unprotected	DWDM Trunk - Far End					Data Centre A.A	Data Centre E.B	70,00	24,51	24,51	15.17515	15.17515	-17,43	-17,43
	DWDM Trunk - Near End					Data Centre E.B	Data Centre A.A	70,00	22,46	22,46	13.26	13.26	-16,74	-16,74
Data Centre A-Data Centre B/100GE 1 532,68 nm Unprotected	DWDM Trunk - Far End					Data Centre A.B	Data Centre B.A	73,00	24,32	24,32	16.52367	16.52367	-17,43	-17,43
	DWDM Trunk - Near End					Data Centre B.A	Data Centre A.B	73,00	22,28	22,28	14.582	14.582	-16,74	-16,74
Data Centre A-Data Centre B/100GE 1 534,25 nm Unprotected	DWDM Trunk - Far End					Data Centre A.B	Data Centre B.A	73,00	24,32	24,32	16.52367	16.52367	-17,43	-17,43
	DWDM Trunk - Near End					Data Centre B.A	Data Centre A.B	73,00	22,28	22,28	14.582	14.582	-16,74	-16,74

Name	Srv Demand	S L	E L	O S	S	Source	Dest	Span	SOL OSNR	EOL OSNR	SOL OSNR-M	EOL OSNR-M	SOL RX	EOL RX
Data Centre A-Data Centre B/10GE 1 560,61 nm Unprotected	DWDM Trunk - Far End					Data Centre A.B	Data Centre B.A	73,00	24,32	24,32	14.98515	14.98515	-17,43	-17,43
	DWDM Trunk - Near End					Data Centre B.A	Data Centre A.B	73,00	22,36	22,36	13.16	13.16	-16,74	-16,74
Data Centre A-Data Centre B/10GE 1559,79 nm Unprotected	DWDM Trunk - Far End					Data Centre A.B	Data Centre B.A	73,00	24,32	24,32	14.98515	14.98515	-17,43	-17,43
	DWDM Trunk - Near End					Data Centre B.A	Data Centre A.B	73,00	22,35	22,35	13.15	13.15	-16,74	-16,74
Data Centre B-Data Centre C/100GE 1 532,68 nm Unprotected	DWDM Trunk - Far End					Data Centre B.B	Data Centre C.A	80,00	21,87	21,87	14.1377	14.1377	-17,43	-17,43
	DWDM Trunk - Near End					Data Centre C.A	Data Centre B.B	80,00	21,87	21,87	14.1377	14.1377	-17,43	-17,43
Data Centre B-Data Centre C/100GE 1 534,25 nm Unprotected	DWDM Trunk - Far End					Data Centre B.B	Data Centre C.A	80,00	21,88	21,88	14.1477	14.1477	-17,43	-17,43
	DWDM Trunk - Near End					Data Centre C.A	Data Centre B.B	80,00	21,88	21,88	14.1477	14.1477	-17,43	-17,43
Data Centre B-Data Centre C/10GE 1 560,61 nm Unprotected	DWDM Trunk - Far End					Data Centre B.B	Data Centre C.A	80,00	21,98	21,98	12.709	12.709	-17,43	-17,43
	DWDM Trunk - Near End					Data Centre C.A	Data Centre B.B	80,00	21,98	21,98	12.709	12.709	-17,43	-17,43
Data Centre B-Data Centre C/10GE 1 559,79 nm Unprotected	DWDM Trunk - Far End					Data Centre B.B	Data Centre C.A	80,00	21,98	21,98	12.709	12.709	-17,43	-17,43
	DWDM Trunk - Near End					Data Centre C.A	Data Centre B.B	80,00	21,98	21,98	12.709	12.709	-17,43	-17,43

Name	Srv Demand	S L	E L	O S	S	Source	Dest	Span	SOL OSNR	EOL OSNR	SOL OSNR-M	EOL OSNR-M	SOL RX	EOL RX
Data Centre C-Data Centre D/100GE 1 532,68 nm Unprotected	DWDM Trunk - Far End					Data Centre C.B	Data Centre D.A	68,00	22,48	22,48	14.85282	14.85282	-16,74	-16,74
	DWDM Trunk - Near End	●	●	●		Data Centre D.A	Data Centre C.B	68,00	24,63	24,63	16.8977	16.8977	-17,43	-17,43
Data Centre C-Data Centre D/100GE 1 534,25 nm Unprotected	DWDM Trunk - Far End					Data Centre C.B	Data Centre D.A	68,00	22,48	22,48	14.85282	14.85282	-16,74	-16,74
	DWDM Trunk - Near End	●	●	●		Data Centre D.A	Data Centre C.B	68,00	24,63	24,63	16.8977	16.8977	-17,43	-17,43
Data Centre C-Data Centre D/10GE 1 560,61 nm Unprotected	DWDM Trunk - Far End					Data Centre C.B	Data Centre D.A	68,00	22,54	22,54	13.34	13.34	-16,74	-16,74
	DWDM Trunk - Near End	●	●	●		Data Centre D.A	Data Centre C.B	68,00	24,63	24,63	15.35918	15.35918	-17,43	-17,43
Data Centre C-Data Centre D/10GE 1 559,79 nm Unprotected	DWDM Trunk - Far End					Data Centre C.B	Data Centre D.A	68,00	22,54	22,54	13.34	13.34	-16,74	-16,74
	DWDM Trunk - Near End	●	●	●		Data Centre D.A	Data Centre C.B	68,00	24,63	24,63	15.35918	15.35918	-17,43	-17,43
/Data Centre D-Data Centre E/100GE 1 532,68 nm Unprotected	DWDM Trunk - Far End					Data Centre D.B	Data Centre E.A	76,00	24,10	24,10	16.30367	16.30367	-17,43	-17,43
	DWDM Trunk - Near End	●	●	●		Data Centre E.A	Data Centre D.B	76,00	22,13	22,13	14.43199	14.43199	-16,74	-16,74
Data Centre D-Data Centre E/100GE 1 534,25 nm Unprotected	DWDM Trunk - Far End					Data Centre D.B	Data Centre E.A	76,00	24,10	24,10	16.30367	16.30367	-17,43	-17,43
	DWDM Trunk - Near End	●	●	●		Data Centre E.A	Data Centre D.B	76,00	22,14	22,14	14.44199	14.44199	-16,74	-16,74

Name	Srv Demand	S L	E L	O S	S	Source	Dest	Span	SOL OSNR	EOL OSNR	SOL OSNR-M	EOL OSNR-M	SOL RX	EOL RX
Data Centre D-Data Centre E/10GE 1 560,61 nm Unprotected	DWDM Trunk - Far End					Data Centre D.B	Data Centre E.A	76,00	24,10	24,10	14.76515	14.76515	-17,43	-17,43
	DWDM Trunk - Near End	●	●	●		Data Centre E.A	Data Centre D.B	76,00	22,22	22,22	12.94918	12.94918	-16,74	-16,74
Data Centre D-Data Centre E/10GE 1 559,79 nm Unprotected	DWDM Trunk - Far End					Data Centre D.B	Data Centre E.A	76,00	24,10	24,10	14.76515	14.76515	-17,43	-17,43
	DWDM Trunk - Near End	●	●	●		Data Centre E.A	Data Centre D.B	76,00	22,22	22,22	12.94918	12.94918	-16,74	-16,74

Таб. 2.5. Оптични резултати - 2

Name	Srv Demand	SOL Power	EOL Power	SOL Overload	EOL Overload	Residual CD	CD Robustness	Single-NLE	Multi-NLE	Filtering Penalty	PMD
Data Centre E-Data Centre C/100GE 1 530,33 nm PSM-OCH	DWDM Trunk - Far End	0.57038	0.57038	16.92962	16.92962	547,20	[-37000, 37000]	●	●	0.2816	1.32303
	DWDM Trunk - Near End	0.57038	0.57038	16.92962	16.92962	547,20	[-37000, 37000]	●	●	0.2816	1.32303
Data Centre E-Data Centre C/100GE 1 530,33 nm PSM-OCH	DWDM Trunk - Far End	0.47038	0.47038	16.92962	16.92962	847,40	[-37000, 37000]	●	●	0.3008	1.54169
	DWDM Trunk - Near End	0.47038	0.47038	16.92962	16.92962	847,40	[-37000, 37000]	●	●	0.3008	1.54169
Data Centre B-Data Centre E/100GE 1 531,12 nm PSM-OCH	DWDM Trunk - Far End	0.57038	0.57038	16.92962	16.92962	543,40	[-37000, 37000]	●	●	0.2816	1.32242
	DWDM Trunk - Near End	0.57038	0.57038	16.92962	16.92962	543,40	[-37000, 37000]	●	●	0.2816	1.32242
Data Centre B-Data Centre E/100GE 1 531,12 nm PSM-OCH	DWDM Trunk - Far End	0.47038	0.47038	16.92962	16.92962	851,20	[-37000, 37000]	●	●	0.3008	1.54221
	DWDM Trunk - Near End	0.47038	0.47038	16.92962	16.92962	851,20	[-37000, 37000]	●	●	0.3008	1.54221
Data Centre C-Data Centre B/100GE 1 531,90 nm PSM-OCH	DWDM Trunk - Far End	0.77039	0.77039	16.92962	16.92962	304,00	[-37000, 37000]	●	●	0.2624	1.07145
	DWDM Trunk - Near End	0.77039	0.77039	16.92962	16.92962	304,00	[-37000, 37000]	●	●	0.2624	1.07145
Data Centre C-Data Centre B/100GE 1 531,90 nm PSM-OCH	DWDM Trunk - Far End	0.27039	0.27039	16.92962	16.92962	1 090,60	[-37000, 37000]	●	●	0.32	1.72604
	DWDM Trunk - Near End	0.27039	0.27039	16.92962	16.92962	1 090,60	[-37000, 37000]	●	●	0.32	1.72604

Name	Srv Demand	SOL Power	EOL Power	SOL Overload	EOL Overload	Residual CD	CD Robustness	Single-NLE	Multi-NLE	Filtering Penalty	PMD
Data Centre E-Data Centre A/100GE 1532,68 nm Unprotected	DWDM Trunk - Far End	0.77039	0.77039	16.92962	16.92962	266,00	[-37000, 37000]	●	●	0.2624	1.06395
	DWDM Trunk - Near End	1.45632	1.45632	16.24368	16.24368	266,00	[-37000, 37000]	●	●	0.2624	1.06395
Data Centre E-Data Centre A/100GE 1 534,25 nm Unprotected	DWDM Trunk - Far End	0.77039	0.77039	16.92962	16.92962	266,00	[-37000, 37000]	●	●	0.2624	1.06395
	DWDM Trunk - Near End	1.45632	1.45632	16.24368	16.24368	266,00	[-37000, 37000]	●	●	0.2624	1.06395
Data Centre E-Data Centre A/10GE 1 560,61 nm Unprotected	DWDM Trunk - Far End	6.17039	6.17039	9.92962	9.92962	266,00	[-350, 1300]	●	●	0.5412	1.06395
	DWDM Trunk - Near End	6.85632	6.85632	9.24368	9.24368	266,00	[-350, 1300]	●	●	0.5412	1.06395
Data Centre E-Data Centre A/10GE 1 559,79 nm Unprotected	DWDM Trunk - Far End	6.17039	6.17039	9.92962	9.92962	266,00	[-350, 1300]	●	●	0.5412	1.06395
	DWDM Trunk - Near End	6.85632	6.85632	9.24368	9.24368	266,00	[-350, 1300]	●	●	0.5412	1.06395
Data Centre A-Data Centre B/100GE 1 532,68 nm Unprotected	DWDM Trunk - Far End	0.77039	0.77039	16.92962	16.92962	277,40	[-37000, 37000]	●	●	0.2624	1.06621
	DWDM Trunk - Near End	1.45632	1.45632	16.24368	16.24368	277,40	[-37000, 37000]	●	●	0.2624	1.06621
Data Centre A-Data Centre B/100GE 1 532,68 nm Unprotected	DWDM Trunk - Far End	0.77039	0.77039	16.92962	16.92962	277,40	[-37000, 37000]	●	●	0.2624	1.06621
	DWDM Trunk - Near End	1.45632	1.45632	16.24368	16.24368	277,40	[-37000, 37000]	●	●	0.2624	1.06621

Name	Srv Demand	SOL Power	EOL Power	SOL Overload	EOL Overload	Residual CD	CD Robustness	Single-NLE	Multi-NLE	Filtering Penalty	PMD
Data Centre E-Data Centre A/10GE 1 559,79 nm Unprotected	DWDM Trunk - Far End	6.17039	6.17039	9.92962	9.92962	277,40	[-350, 1300]	●	●	0.5412	1.06621
	DWDM Trunk - Near End	6.85632	6.85632	9.24368	9.24368	277,40	[-350, 1300]	●	●	0.5412	1.06621
Data Centre A-Data Centre B/100GE 1 534,25 nm Unprotected	DWDM Trunk - Far End	6.17039	6.17039	9.92962	9.92962	277,40	[-350, 1300]	●	●	0.5412	1.06621
	DWDM Trunk - Near End	6.85632	6.85632	9.24368	9.24368	277,40	[-350, 1300]	●	●	0.5412	1.06621
Data Centre B-Data Centre C/100GE 1 532,68 nm Unprotected	DWDM Trunk - Far End	0.77039	0.77039	16.92962	16.92962	304,00	[-37000, 37000]	●	●	0.2624	1.07145
	DWDM Trunk - Near End	0.77039	0.77039	16.92962	16.92962	304,00	[-37000, 37000]	●	●	0.2624	1.07145
Data Centre B-Data Centre C/100GE 1 534,25 nm Unprotected	DWDM Trunk - Far End	0.77039	0.77039	16.92962	16.92962	304,00	[-37000, 37000]	●	●	0.2624	1.07145
	DWDM Trunk - Near End	0.77039	0.77039	16.92962	16.92962	304,00	[-37000, 37000]	●	●	0.2624	1.07145
Data Centre B-Data Centre C/10GE 1 560,61 nm Unprotected	DWDM Trunk - Far End	6.17039	6.17039	9.92962	9.92962	304,00	[-350, 1300]	●	●	0.5412	1.07145
	DWDM Trunk - Near End	6.17039	6.17039	9.92962	9.92962	304,00	[-350, 1300]	●	●	0.5412	1.07145
Data Centre B-Data Centre C/10GE 1 559,79 nm Unprotected	DWDM Trunk - Far End	6.17039	6.17039	9.92962	9.92962	304,00	[-350, 1300]	●	●	0.5412	1.07145
	DWDM Trunk - Near End	6.17039	6.17039	9.92962	9.92962	304,00	[-350, 1300]	●	●	0.5412	1.07145

Name	Srv Demand	SOL Power	EOL Power	SOL Overload	EOL Overload	Residual CD	CD Robustness	Single-NLE	Multi-NLE	Filtering Penalty	PMD
Data Centre C-Data Centre D/100GE 1 532,68 nm Unprotected	DWDM Trunk - Far End	1.45632	1.45632	16.24368	16.24368	258,40	[-37000, 37000]	●	●	0.2624	1.06245
	DWDM Trunk - Near End	0.77039	0.77039	16.92962	16.92962	258,40	[-37000, 37000]	●	●	0.2624	1.06245
Data Centre C-Data Centre D/100GE 1 534,25 nm Unprotected	DWDM Trunk - Far End	1.45632	1.45632	16.24368	16.24368	258,40	[-37000, 37000]	●	●	0.2624	1.06245
	DWDM Trunk - Near End	0.77039	0.77039	16.92962	16.92962	258,40	[-37000, 37000]	●	●	0.2624	1.06245
Data Centre C-Data Centre D/10GE 1 560,61 nm Unprotected	DWDM Trunk - Far End	6.85632	6.85632	9.24368	9.24368	258,40	[-350, 1300]	●	●	0.5412	1.06245
	DWDM Trunk - Near End	6.17039	6.17039	9.92962	9.92962	258,40	[-350, 1300]	●	●	0.5412	1.06245
Data Centre C-Data Centre D/10GE 1 559,79 nm Unprotected	DWDM Trunk - Far End	6.85632	6.85632	9.24368	9.24368	258,40	[-350, 1300]	●	●	0.5412	1.06245
	DWDM Trunk - Near End	6.17039	6.17039	9.92962	9.92962	258,40	[-350, 1300]	●	●	0.5412	1.06245
Data Centre D-Data Centre E/100GE 1 532,68 nm Unprotected	DWDM Trunk - Far End	0.77039	0.77039	16.92962	16.92962	288,80	[-37000, 37000]	●	●	0.2624	1.06846
	DWDM Trunk - Near End	1.45632	1.45632	16.24368	16.24368	288,80	[-37000, 37000]	●	●	0.2624	1.06846
Data Centre D-Data Centre E/100GE 1 534,25 nm Unprotected	DWDM Trunk - Far End	0.77039	0.77039	16.92962	16.92962	288,80	[-37000, 37000]	●	●	0.2624	1.06846
	DWDM Trunk - Near End	1.45632	1.45632	16.24368	16.24368	288,80	[-37000, 37000]	●	●	0.2624	1.06846

Name	Srv Demand	SOL Power	EOL Power	SOL Overload	EOL Overload	Residual CD	CD Robustness	Single-NLE	Multi-NLE	Filtering Penalty	PMD
Data Centre D-Data Centre E/10GE 1 560,61 nm Unprotected	DWDM Trunk - Far End	6.17039	6.17039	9.92962	9.92962	288,80	[-350, 1300]	●	●	0.5412	1.06846
	DWDM Trunk - Near End	6.85632	6.85632	9.24368	9.24368	288,80	[-350, 1300]	●	●	0.5412	1.06846
Data Centre D-Data Centre E/10GE 1 559,79 nm Unprotected	DWDM Trunk - Far End	6.17039	6.17039	9.92962	9.92962	288,80	[-350, 1300]	●	●	0.5412	1.06846
	DWDM Trunk - Near End	6.85632	6.85632	9.24368	9.24368	288,80	[-350, 1300]	●	●	0.5412	1.06846

На таблици 2.4. и 2.5. са представени, всички оптични резултати за всички услуги в оптичната транспортна мрежа.

Параметър е “Protection” – защита, той индицира дали има защита на оптичния път.

Вторият параметър е “Start of Life”. Той показва икона, показваща обобщението на резултатите от анализа, който се изпълнява със стойности на загубите в началото на живота на влакното (SOL): Зеленото означава успех. Жълтият цвят показва, че съществува шанс загубите ще са по-големи от обичайните в края на живота на влакната. Оранжевият цвят показва, че при този канал има по-големи от обичайните загуби. Червеният цвят показва отказ.

Полето “EOL” означава “End of Life” и показва икона, показваща обобщението на резултатите от анализа, който се изпълнява със стойности на загубите в края на експлоатационния период на влакната. Аналогично на предния параметър индикаторът показва оптичните характеристики за пътя в края на живота на влакното: Зеленото означава успех. Жълтият цвят показва, че съществува шанс загубите ще са по-големи от обичайните в края на живота на влакната. Оранжевият цвят показва, че при този канал има по-големи от обичайните загуби. Червеният цвят показва грешка.

Следващият параметър е “SE” (System Error). Той показва грешка, свързана със системата, която може да повлияе на анализа на проекта. Наличието на зелен индикатор, показано на Фигура 2.5. означава, че няма такава системна грешка.

Полето “P/F” показва дали анализът се отнася за настоящи, или прогнозни услуги. На оптичните резултати е показано, че е за настоящи.

Следващите две полета са за “Source” и “Destination”. Показват източника и дестинацията. Колоните показват и от коя страна на съответното шаси минава пътя

Параметърът “Wavelength” се отнася за дължината на вълната.

“Span” показва общата дължина на обхвата на оптичния канал в километри.

“SOL OSNR” и “EOL OSNR” показват както следва средната стойност на съотношението оптичен сигнал/шум (OSNR) в началото на живота на приемника и в края на живота на приемника. Стойностите за оптичните трасета са показани на оптичните резултати по-долу. Тези стойности се измерват в dB.

“SOL OSNR-M (margin)” и “EOL OSNR-M (margin)” показват изчислението на разликата между стойността на OSNR при определена мощност на работната точка на приемника и границата на работната зона. Стойността се записва отново в dB. Примерни стойности са -17,43 и -16,74.

“SOL RX” е средната мощност на SOL, която се получава при получателя, в dBm. Следователно “EOL RX” е средната мощност на SOL, която се получава при получателя, в dBm.

“SOL/EOL power (margin)” показва границата на захранване SOL/EOL в приемника в децибели. Положителната стойност

показва, че няма проблеми с мощността. На оптичните резултати е показано, че няма грешка при този параметър.

“SOL/EOL Overload” индицира допустимото претоварване на SOL/EOL в приемника в децибели. Положителната стойност, която е показана на оптичните резултати, показва, че няма проблеми с претоварването.

“Residual CD” показва границата на хроматичната дисперсия (CD) на изискванията. Измерва се в ps/nm и някои примерни стойности са показани на Фигура 2.7. по-долу.

“CD Robustness” показва устойчивостта на приемника на хроматична дисперсия. Това е като границите на допустимата хроматична дисперсия. Измерва се в ps/nm.

“Single Channel NLE Status” представя статусът на алармите ако има нелинеен ефект.

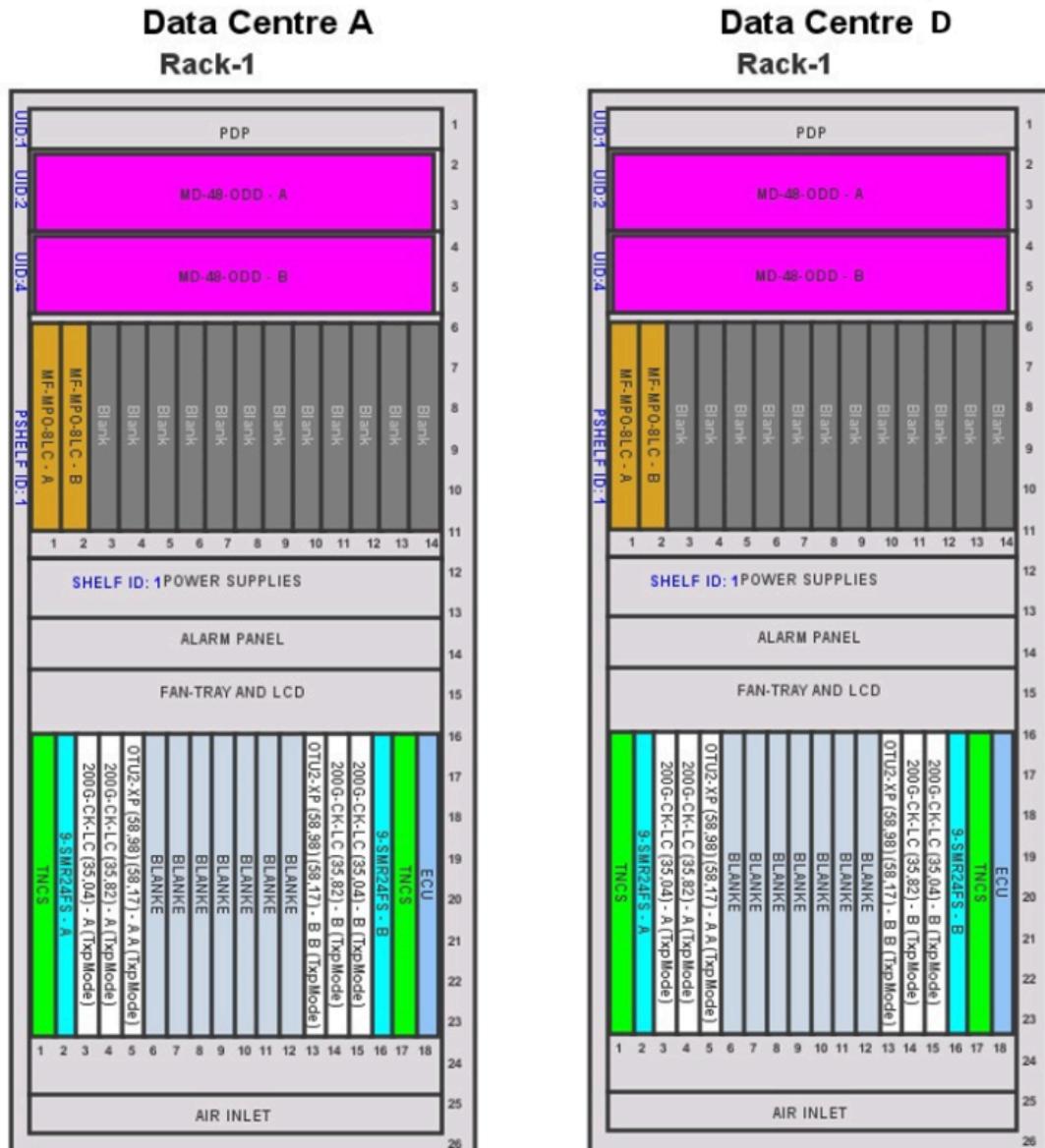
“Multi Channel NLE Status” предоставя информация за нелинеен ефект в конкретен канал, който е бил причинен от други канали.

“Filtering Penalty” показва стойността на загубите, причинени от различните видове филтри като филтрите в мултиплексорите, използвани в DWDM мрежата (OADM, ROADM).

“PMD” е параметър, който показва изчислената обща дисперсия на поляризационния режим за всяка връзка. Ако общата дисперсия в поляризационен режим превишава максимално допустимата стойност, стойността на ”PMD”, която се измерва в ps, се показва с червен шрифт. Стойността в оптичните резултати е в допустими граници.

“RX/TX Atten” за параметрите, които показват затихването във входа/изхода на приемника.

2.4.3. Разположение на оборудването в комуникационния шкаф



Фиг. 2.6. Мрежови шкафове А и D

На Фигура 2.6. са показани мрежовите шкафове при центровете за данни А и D. Те са с еднакви оформления, защото

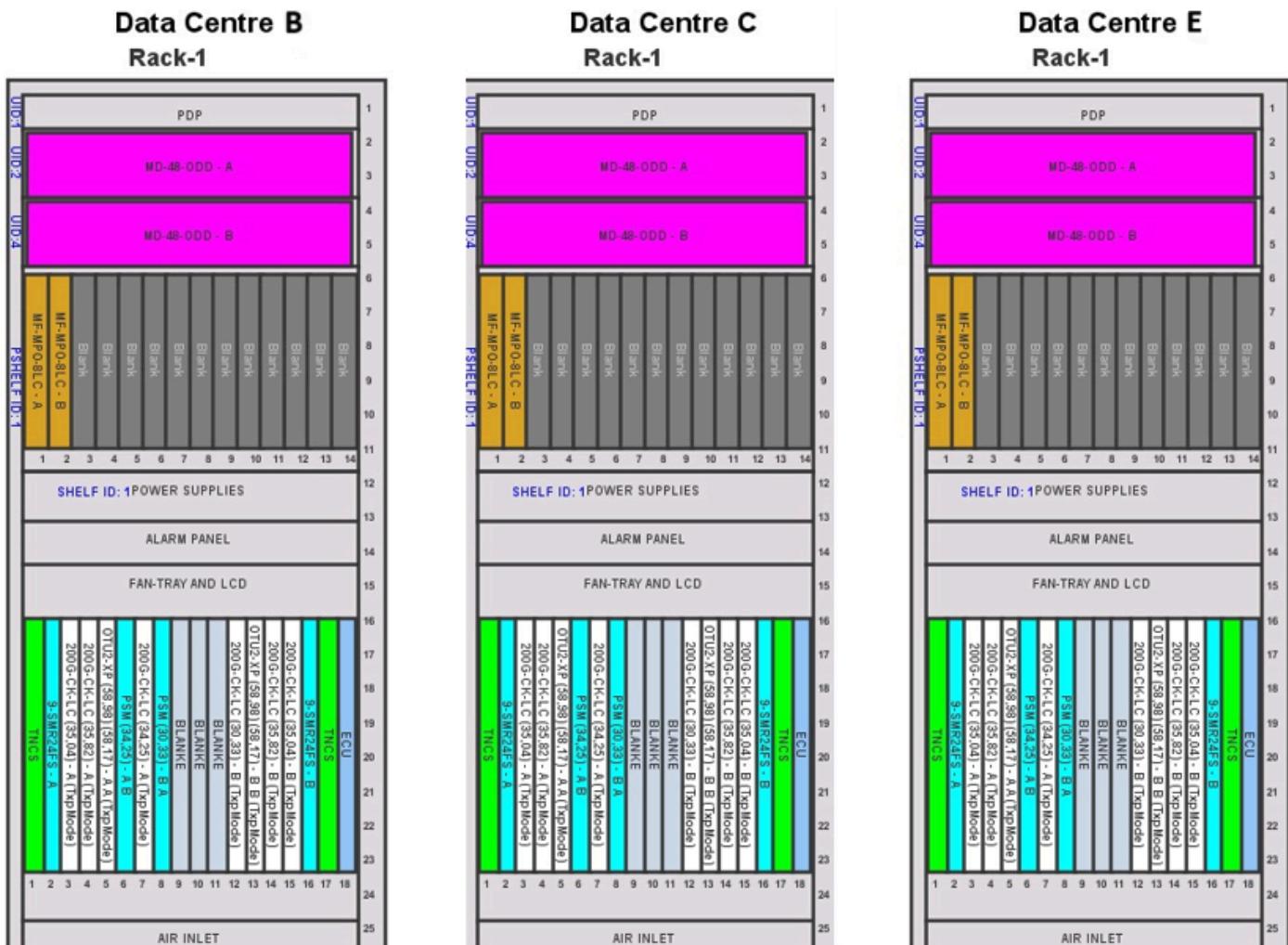
това са двете места, на които няма картите за защита и резервираност (PSM), които са описани в т. 1.14.1. Те включват Cisco картите TNCS-O, чиято функция е описана в т.1.15.1. Самите TNCS карти служат като процесорна карта за възела.

Картите 200G-CL-LC се използват в симулацията и във всички комуникационни шкафове само за 100 GbE. Описани са в т.1.15.2.

Картата OTU2-XP се използва във всички възли, защото е основна услуга и има два канала 10GbE между всеки център за данни.

Използвани са и mux/demux MD-48-OOD пач панели, които са описани по-подробно в т.

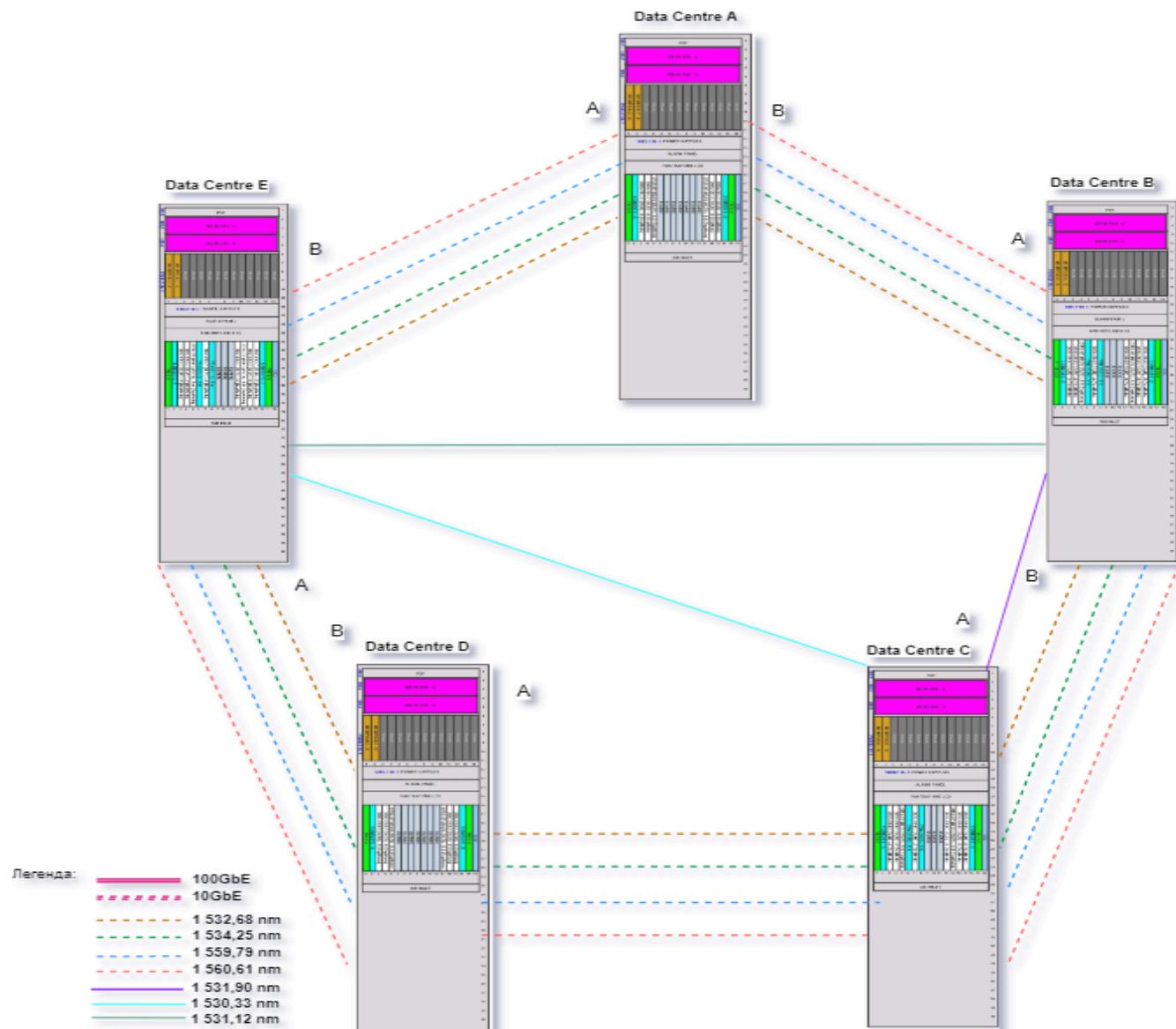
Разликата при комуникационните шкафове, които са на фигура 2.7. е че са добавени още две клиентски карти. Добавена е още една 200G-CL-LC карта която пренася 100GbE, която е услугата, служеща за резервираност в оптичната преносна мрежа. Също така има картата PSM, която е модулът за резервираност, чрез който се постига цялостната защита на оптичната преносна мрежа.



Фиг. 2.7. Мрежови шкафове В, С и Е

На фигура 2.8.. е представено общото разпределение на шаситата в симулацията и всичките дължини на вълните, които са използвани в симулацията.

Използваните дължини на вълните, които са показани на Фиг.2.9. за каналите по 10GbE са 1 560,61 nm, 1 559,79 nm. За каналите по 100GbE са 1 532,68 nm и 1 534,25 nm. Дължините на вълните за каналите за резервираност са 1 531,12 nm, 1 531,90 nm и 1 530,33 nm.



Фиг. 2.8. Общо разпределение на шасита

2.4.4. Вътрешни връзки в центровете за данни

Cisco Transport Planner дава информация след симулиране на мрежата и за връзките на пачкорда, свързани с оптични усилватели, оптични филтърни модули, връзки с клиентски интерфейсни модули, транспондери, мрежови карти, щепселни устройства, модули за управление на няколко рафта (MSM) и пасивни инвентарни модули [21]. Тази информация е представена за всеки център за данни под формата на таблица. Таблицата има следните полета :

- Полето “Name” показва името на обекта и името на кабела, използван във връзката.
- “Position - 1” показва позицията на комуникационния шкаф, рафта и слота на картата, от която произхожда пачкордът.
- “Unit - 1” посочва името на мрежовата карта.
- “Port Label - 1” посочва името на порта.
- “Position - 2” показва позицията на стелажа, рафта и слота на картата, където приключва пачкордът.
- “Unit - 2” посочва името на мрежовата карта.
- “Port Label - 2” посочва името на порта.

На таблица 2.9. са показани вътрешните връзки за центъра за данни А, за да се представи по-ясно информацията от таблицата, на фигура 2.10. е представена цялата информация графично. На таблица 2.11. и фигура 2.12. са представени връзките за В. За център за данни С информацията е представена на

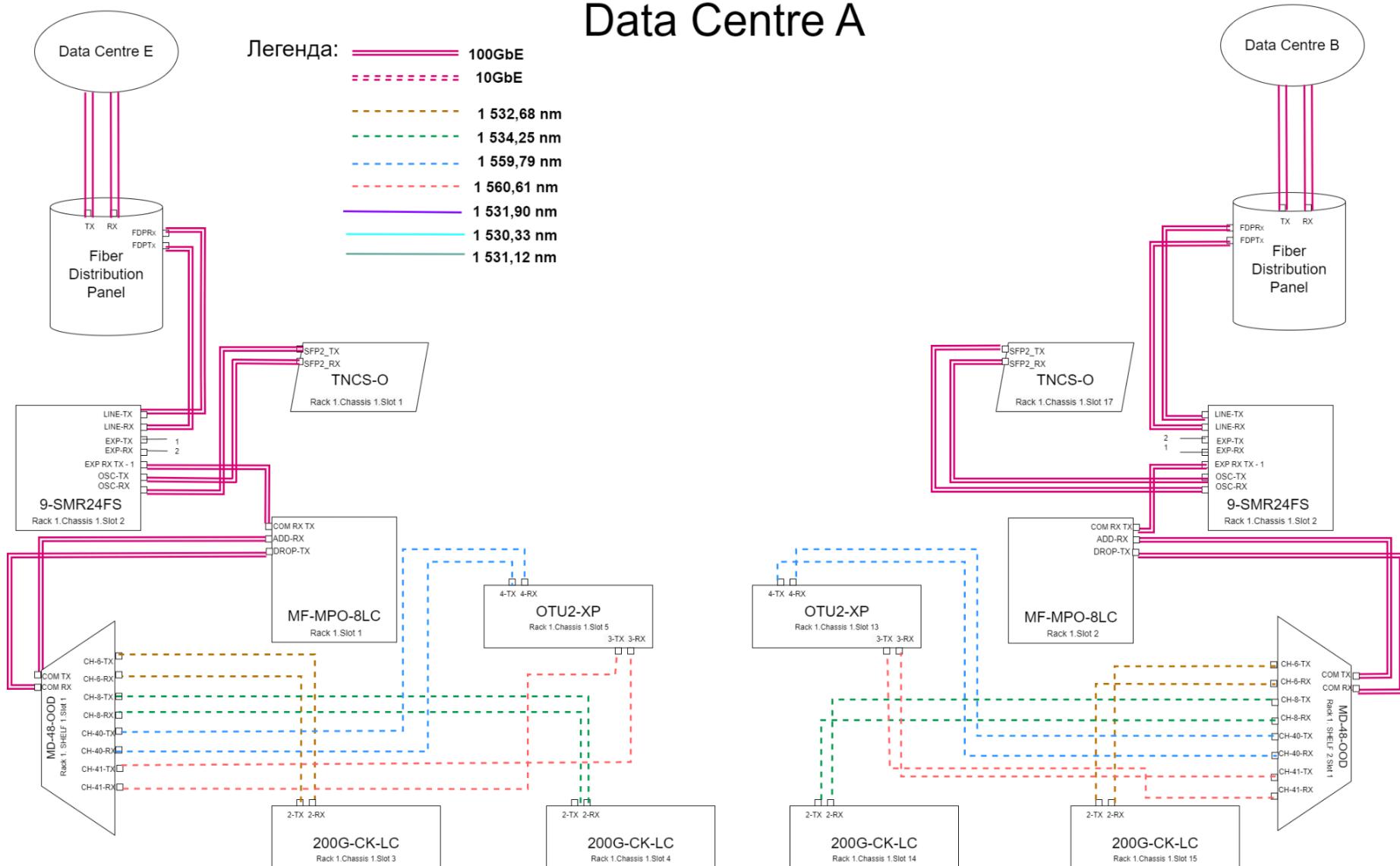
таблица 2.13. и фигура 2.14. Информацията за D е представена на таблица 2.15. и фигура 2.16. Вътрешните връзки за D за представени на таблица 2.17. и фигура 2.18.

Таб. 2.9. Вътрешни връзки в Data Centre A

Name	Position - 1	Unit - 1	Port label - 1	Position - 2	Unit - 2	Port label - 2
Data Centre A						
Fiber	Rack 1. Chassis 1.Slot 2	9-SMR24FS	LINE-TX	NA	Fiber Distribution Panel	FDPRx
Fiber	NA	Fiber Distribution Panel	FDPTx	Rack 1. Chassis 1.Slot 2	9-SMR24FS	LINE-RX
Fiber	Rack 1. Chassis 1.Slot 16	9-SMR24FS	LINE-TX	NA	Fiber Distribution Panel	FDPRx
Fiber	NA	Fiber Distribution Panel	FDPTx	Rack 1. Chassis 1.Slot 16	9-SMR24FS	LINE-RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 2	9-SMR24FS	EXP-TX 10	Rack 1. Chassis 1.Slot 16	9-SMR24FS	EXP-RX 9
LC-LC-2	Rack 1.Chassis 1.Slot 16	9-SMR24FS	EXP-TX 10	Rack 1. Chassis 1.Slot 2	9-SMR24FS	EXP-RX 9
LC-LC-2	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-6-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 3	200G-CK-LC	2-RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 3	200G-CK-LC	2-TX	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-6-RX
LC-LC-2	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-8-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 4	200G-CK-LC	2-RX
LC-LC-2	Rack 1.Chassis 1.Slot 4	200G-CK-LC	2-TX	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-8-RX
LC-LC-2	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-41-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 5	OTU2-XP	3-RX
LC-LC-2	Rack 1.Chassis 1.Slot 5	OTU2-XP	3-TX	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-4-1RX
LC-LC-2	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-40-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 5	OTU2-XP	4-RX
LC-LC-2	Rack 1.Chassis 1.Slot 5	OTU2-XP	4-TX	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-4-0RX
LC-LC-2	Rack 1. SHELF 2.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-6-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 15	200G-CK-LC	2-RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 15	200G-CK-LC	2-TX	Rack 1. SHELF 2.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-6-RX
LC-LC-2	Rack 1. SHELF 2.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-8-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 14	200G-CK-LC	2-RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 14	200G-CK-LC	2-TX	Rack 1. SHELF 2.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-8-RX

Name	Position - 1	Unit - 1	Port label - 1	Position - 2	Unit - 2	Port label - 2
LC-LC-2	Rack 1. SHELF 2.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-41 -TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 13	OTU2-XP	3-RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 13	OTU2-XP	3-TX	Rack 1. SHELF 2.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-4 1-RX
LC-LC-2	Rack 1. SHELF 2.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-40 -TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 13	OTU2-XP	4-RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 13	OTU2-XP	4-TX	Rack 1. SHELF 2.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-4 0-RX
MPO-MP O-2	Rack 1. 1.Slot 1	MF-MPO-8LC	COM RX TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 2	9-SMR24FS	EXP RX TX - 1
LC-LC-2	Rack 1. 1.Slot 1	MF-MPO-8LC	DROP-T X 1	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	COM RX
LC-LC-2	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	COM TX	Rack 1. 1.Slot 1	MF-MPO-8LC	ADD-RX 1
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 1	TNCS-O	SFP2_TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 2	9-SMR24FS	OSC-RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 2	9-SMR24FS	OSC-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 1	TNCS-O	SFP2_RX
MPO-MP O-2	Rack 1. 1.Slot 2	MF-MPO-8LC	COM RX TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 16	9-SMR24FS	EXP RX TX - 1
LC-LC-2	Rack 1. 1.Slot 2	MF-MPO-8LC	DROP-T X 1	Rack 1. SHELF 2.Slot 1	MD-48-ODD	COM RX
LC-LC-2	Rack 1. SHELF 2.Slot 1	MD-48-ODD	COM TX	Rack 1. 1.Slot 2	MF-MPO-8LC	ADD-RX 1
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 17	TNCS-O	SFP2_TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 16	9-SMR24FS	OSC-RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 16	9-SMR24FS	OSC-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 17	TNCS-O	SFP2_RX

Data Centre A



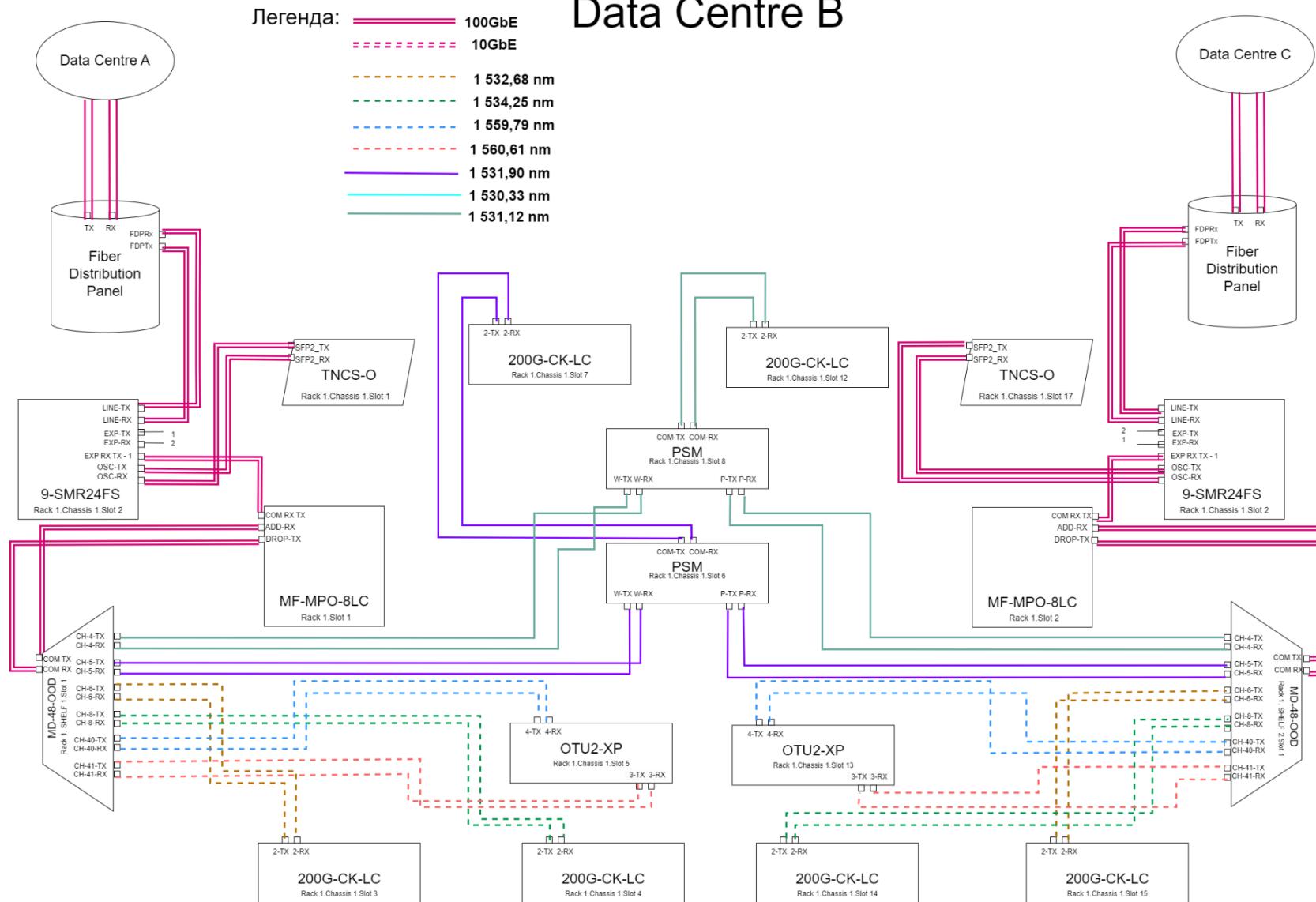
Фиг. 2.10. Вътрешни ерзеки в Data Centre A

Таб. 2.11. Външни връзки в Data Centre B

Name	Position - 1	Unit - 1	Port label - 1	Position - 2	Unit - 2	Port label - 2
Data Centre B						
Fiber	Rack 1. Chassis 1.Slot 2	9-SMR24FS	LINE-TX	NA	Fiber Distribution Panel	FDPRx
Fiber	NA	Fiber Distribution Panel	FDPTx	Rack 1. Chassis 1.Slot 2	9-SMR24FS	LINE-RX
Fiber	Rack 1. Chassis 1.Slot 16	9-SMR24FS	LINE-TX	NA	Fiber Distribution Panel	FDPRx
Fiber	NA	Fiber Distribution Panel	FDPTx	Rack 1. Chassis 1.Slot 16	9-SMR24FS	LINE-RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 2	9-SMR24FS	EXP-TX 10	Rack 1. Chassis 1.Slot 16	9-SMR24FS	EXP-RX 9
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 16	9-SMR24FS	EXP-TX 10	Rack 1. Chassis 1.Slot 2	9-SMR24FS	EXP-RX 9
LC-LC-2	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-6-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 3	200G-CK-LC	2-RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 3	200G-CK-LC	2-TX	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-6-RX
LC-LC-2	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-8-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 4	200G-CK-LC	2-RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 4	200G-CK-LC	2-TX	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-8-RX
LC-LC-2	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-41-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 5	OTU2-XP	3-RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 5	OTU2-XP	3-TX	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-4-1-RX
LC-LC-2	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-40-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 5	OTU2-XP	4-RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 5	OTU2-XP	4-TX	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-4-0-RX
LC-LC-2	Rack 1. SHELF 2.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-6-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 15	200G-CK-LC	2-RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 15	200G-CK-LC	2-TX	Rack 1. SHELF 2.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-6-RX
LC-LC-2	Rack 1. SHELF 2.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-8-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 14	200G-CK-LC	2-RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 14	200G-CK-LC	2-TX	Rack 1. SHELF 2.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-8-RX
LC-LC-2	Rack 1. SHELF 2.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-41-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 13	OTU2-XP	3-RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 13	OTU2-XP	3-TX	Rack 1. SHELF 2.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-4-1-RX
LC-LC-2	Rack 1. SHELF 2.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-40-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 13	OTU2-XP	4-RX

Name	Position - 1	Unit - 1	Port label - 1	Position - 2	Unit - 2	Port label - 2
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 13	OTU2-XP	4-TX	Rack 1. SHELF 2.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-4 0-RX
LC-LC-2	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-4-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 6	PSM	W RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 6	PSM	W TX	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-4-RX
LC-LC-2	Rack 1. SHELF 2.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-4-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 6	PSM	P RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 6	PSM	P TX	Rack 1. SHELF 2.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-4-RX
LC-LC-2	Rack 1. SHELF 2.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-5-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 8	PSM	W RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 8	PSM	W TX	Rack 1. SHELF 2.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-5-RX
LC-LC-2	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-5-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 8	PSM	P RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 8	PSM	P TX	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-5-RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 7	200G-CK-LC	2-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 6	PSM	COM RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 6	PSM	COM TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 7	200G-CK-LC	2-RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 12	200G-CK-LC	2-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 8	PSM	COM RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 8	PSM	COM TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 12	200G-CK-LC	2-RX
MPO-MP O-2	Rack 1. 1.Slot 1	MF-MPO-8LC	COM RX TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 2	9-SMR24FS	EXP RX TX - 1
LC-LC-2	Rack 1. 1.Slot 1	MF-MPO-8LC	DROP-T X 1	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	COM RX
LC-LC-2	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	COM TX	Rack 1. 1.Slot 1	MF-MPO-8LC	ADD-RX 1
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 1	TNCS-O	SFP2_TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 2	9-SMR24FS	OSC-RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 2	9-SMR24FS	OSC-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 1	TNCS-O	SFP2_RX
MPO-MP O-2	Rack 1. 1.Slot 2	MF-MPO-8LC	COM RX TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 16	9-SMR24FS	EXP RX TX - 1
LC-LC-2	Rack 1. 1.Slot 2	MF-MPO-8LC	DROP-T X 1	Rack 1. SHELF 2.Slot 1	MD-48-ODD	COM RX
LC-LC-2	Rack 1. SHELF 2.Slot 1	MD-48-ODD	COM TX	Rack 1. 1.Slot 2	MF-MPO-8LC	ADD-RX 1
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 17	TNCS-O	SFP2_TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 16	9-SMR24FS	OSC-RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 16	9-SMR24FS	OSC-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 17	TNCS-O	SFP2_RX

Data Centre B

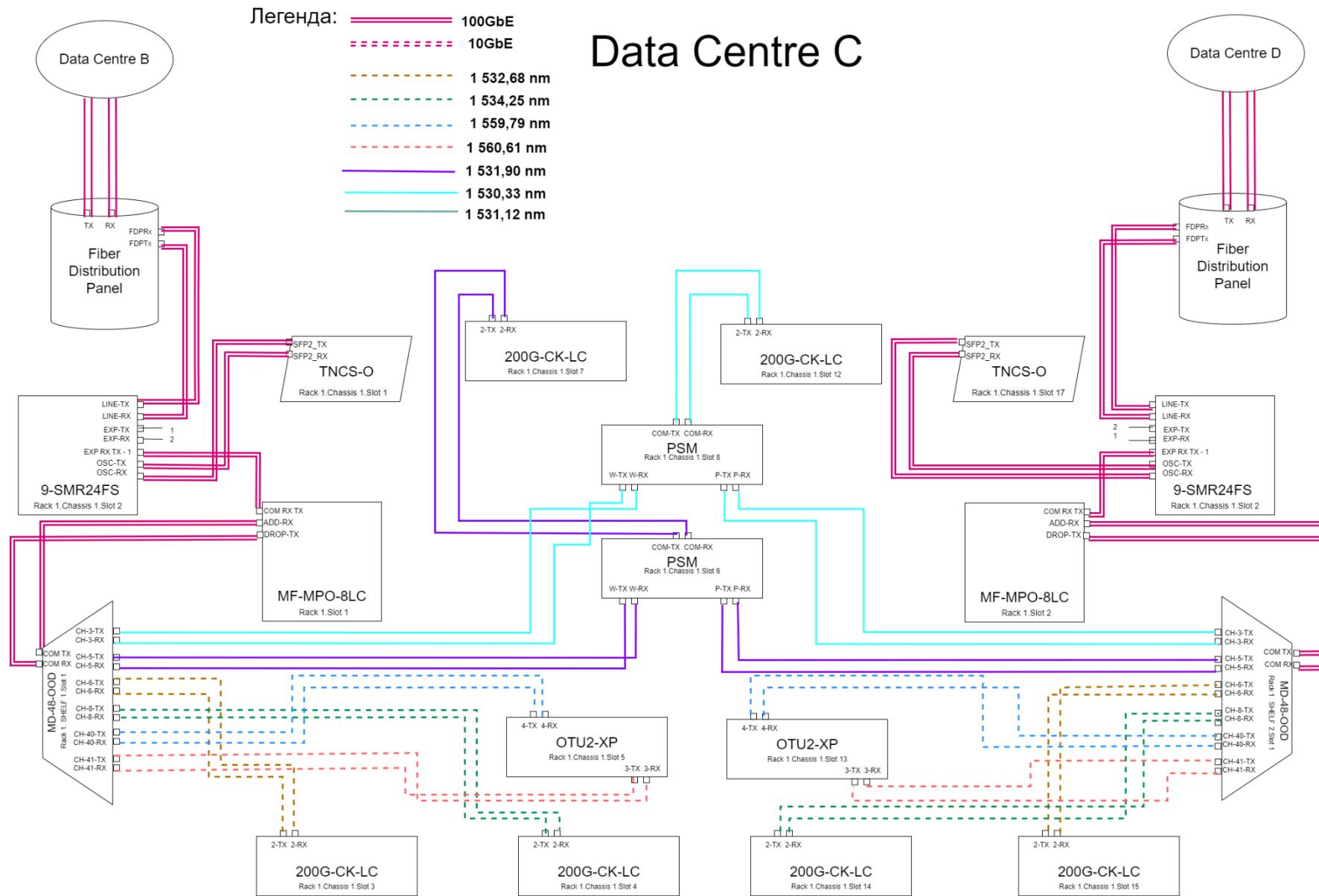


Фиг. 2.12. Вътрешни връзки в Data Centre B

Таб. 2.13. Вътрешни връзки в Data Centre C

Name	Position - 1	Unit - 1	Port label - 1	Position - 2	Unit - 2	Port label - 2
Data Centre C						
Fiber	Rack 1. Chassis 1.Slot 2	9-SMR24FS	LINE-TX	NA	Fiber Distribution Panel	FDPRx
Fiber	NA	Fiber Distribution Panel	FDPTx	Rack 1. Chassis 1.Slot 2	9-SMR24FS	LINE-RX
Fiber	Rack 1. Chassis 1.Slot 16	9-SMR24FS	LINE-TX	NA	Fiber Distribution Panel	FDPRx
Fiber	NA	Fiber Distribution Panel	FDPTx	Rack 1. Chassis 1.Slot 16	9-SMR24FS	LINE-RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 2	9-SMR24FS	EXP-TX 10	Rack 1. Chassis 1.Slot 16	9-SMR24FS	EXP-RX 9
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 16	9-SMR24FS	EXP-TX 10	Rack 1. Chassis 1.Slot 2	9-SMR24FS	EXP-RX 9
LC-LC-2	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-6-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 3	200G-CK-LC	2-RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 3	200G-CK-LC	2-TX	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-6-RX
LC-LC-2	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-8-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 4	200G-CK-LC	2-RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 4	200G-CK-LC	2-TX	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-8-RX
LC-LC-2	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-41-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 5	OTU2-XP	3-RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 5	OTU2-XP	3-TX	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-41-RX
LC-LC-2	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-40-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 5	OTU2-XP	4-RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 5	OTU2-XP	4-TX	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-40-RX
LC-LC-2	Rack 1. SHELF 2.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-6-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 15	200G-CK-LC	2-RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 15	200G-CK-LC	2-TX	Rack 1. SHELF 2.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-6-RX
LC-LC-2	Rack 1. SHELF 2.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-8-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 14	200G-CK-LC	2-RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 14	200G-CK-LC	2-TX	Rack 1. SHELF 2.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-8-RX
LC-LC-2	Rack 1. SHELF 2.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-41-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 13	OTU2-XP	3-RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 13	OTU2-XP	3-TX	Rack 1. SHELF 2.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-41-RX
LC-LC-2	Rack 1. SHELF	MD-48-ODD	CHAN-40	Rack 1. Chassis	OTU2-XP	4-RX

Name	Position - 1	Unit - 1	Port label - 1	Position - 2	Unit - 2	Port label - 2
	2.Slot 1		-TX	1.Slot 13		
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 13	OTU2-XP	4-TX	Rack 1. SHELF 2.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-4 0-RX
LC-LC-2	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-5-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 6	PSM	W RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 6	PSM	W TX	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-5-RX
LC-LC-2	Rack 1. SHELF 2.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-5-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 6	PSM	P RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 6	PSM	P TX	Rack 1. SHELF 2.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-5-RX
LC-LC-2	Rack 1. SHELF 2.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-3-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 8	PSM	W RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 8	PSM	W TX	Rack 1. SHELF 2.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-3-RX
LC-LC-2	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-3-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 8	PSM	P RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 8	PSM	P TX	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-3-RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 12	200G-CK-LC	2-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 8	PSM	COM RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 8	PSM	COM TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 12	200G-CK-LC	2-RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 7	200G-CK-LC	2-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 6	PSM	COM RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 6	PSM	COM TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 7	200G-CK-LC	2-RX
MPO-MP O-2	Rack 1. 1.Slot 1	MF-MPO-8LC	COM RX TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 2	9-SMR24FS	EXP RX TX - 1
LC-LC-2	Rack 1. 1.Slot 1	MF-MPO-8LC	DROP-T X 1	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	COM RX
LC-LC-2	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	COM TX	Rack 1. 1.Slot 1	MF-MPO-8LC	ADD-RX 1
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 1	TNCS-O	SFP2_TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 2	9-SMR24FS	OSC-RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 2	9-SMR24FS	OSC-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 1	TNCS-O	SFP2_RX
MPO-MP O-2	Rack 1. 1.Slot 2	MF-MPO-8LC	COM RX TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 16	9-SMR24FS	EXP RX TX - 1
LC-LC-2	Rack 1. 1.Slot 2	MF-MPO-8LC	DROP-T X 1	Rack 1. SHELF 2.Slot 1	MD-48-ODD	COM RX
LC-LC-2	Rack 1. SHELF 2.Slot 1	MD-48-ODD	COM TX	Rack 1. 1.Slot 2	MF-MPO-8LC	ADD-RX 1
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 17	TNCS-O	SFP2_TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 16	9-SMR24FS	OSC-RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 16	9-SMR24FS	OSC-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 17	TNCS-O	SFP2_RX



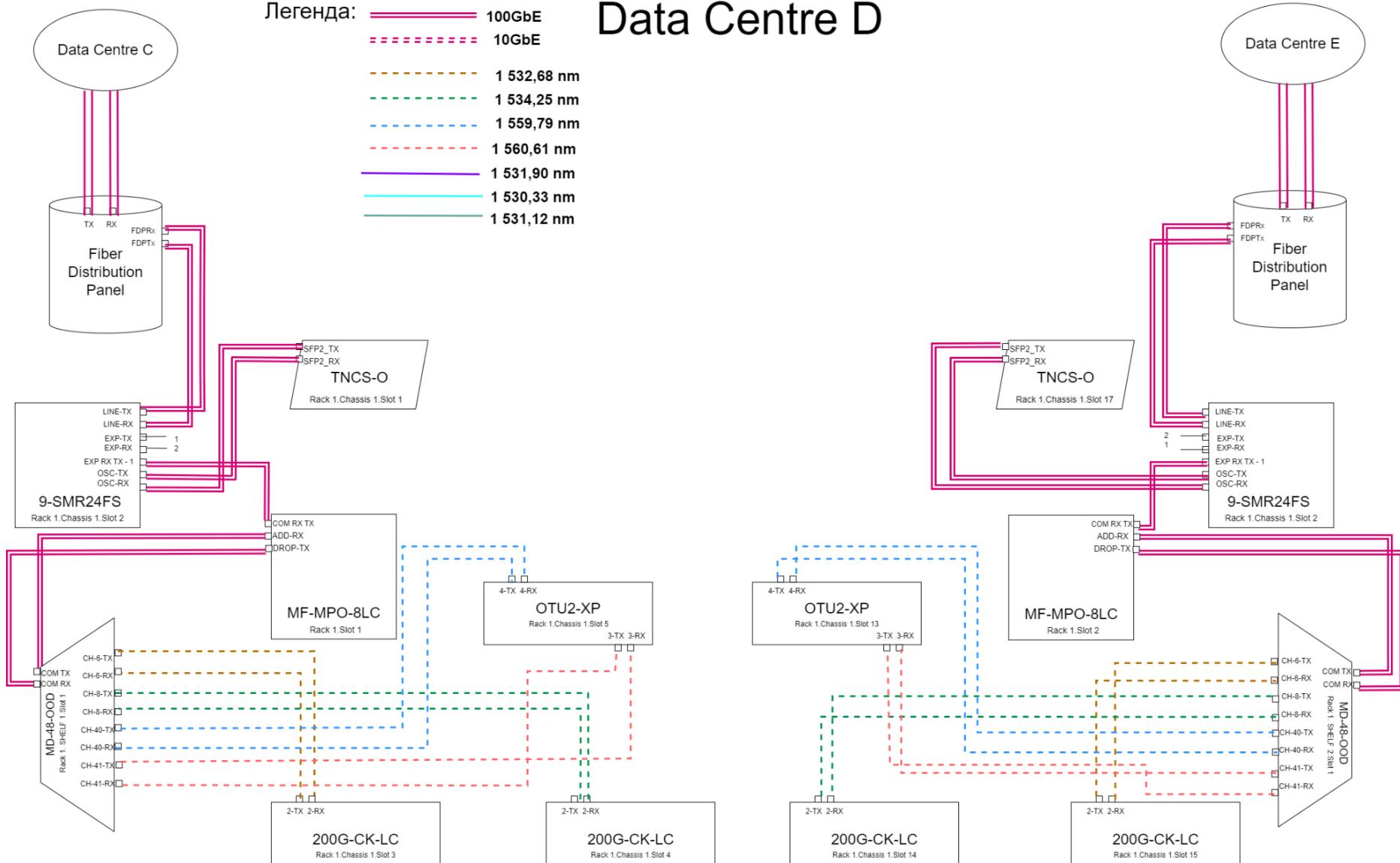
Фиг. 2.14. Вътрешни връзки в Data Centre C

Таб. 2.15. Вътрешни връзки в Data Centre D

Name	Position - 1	Unit - 1	Port label - 1	Position - 2	Unit - 2	Port label - 2
Data Centre D						
Fiber	Rack 1. Chassis 1.Slot 2	9-SMR24FS	LINE-TX	NA	Fiber Distribution Panel	FDPRx
Fiber	NA	Fiber Distribution Panel	FDPTx	Rack 1. Chassis 1.Slot 2	9-SMR24FS	LINE-RX
Fiber	Rack 1. Chassis 1.Slot 16	9-SMR24FS	LINE-TX	NA	Fiber Distribution Panel	FDPRx
Fiber	NA	Fiber Distribution Panel	FDPTx	Rack 1. Chassis 1.Slot 16	9-SMR24FS	LINE-RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 2	9-SMR24FS	EXP-TX 10	Rack 1. Chassis 1.Slot 16	9-SMR24FS	EXP-RX 9
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 16	9-SMR24FS	EXP-TX 10	Rack 1. Chassis 1.Slot 2	9-SMR24FS	EXP-RX 9
LC-LC-2	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-6-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 3	200G-CK-LC	2-RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 3	200G-CK-LC	2-TX	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-6-RX
LC-LC-2	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-8-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 4	200G-CK-LC	2-RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 4	200G-CK-LC	2-TX	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-8-RX
LC-LC-2	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-41-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 5	OTU2-XP	3-RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 5	OTU2-XP	3-TX	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-41-RX
LC-LC-2	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-40-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 5	OTU2-XP	4-RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 5	OTU2-XP	4-TX	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-40-RX
LC-LC-2	Rack 1. SHELF 2.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-6-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 15	200G-CK-LC	2-RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 15	200G-CK-LC	2-TX	Rack 1. SHELF 2.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-6-RX
LC-LC-2	Rack 1. SHELF 2.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-8-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 14	200G-CK-LC	2-RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 14	200G-CK-LC	2-TX	Rack 1. SHELF 2.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-8-RX
LC-LC-2	Rack 1. SHELF 2.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-41-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 13	OTU2-XP	3-RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 13	OTU2-XP	3-TX	Rack 1. SHELF 2.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-41-RX
LC-LC-2	Rack 1. SHELF	MD-48-ODD	CHAN-40	Rack 1. Chassis	OTU2-XP	4-RX

Name	Position - 1	Unit - 1	Port label - 1	Position - 2	Unit - 2	Port label - 2
	2.Slot 1		-TX	1.Slot 13		
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 13	OTU2-XP	4-TX	Rack 1. SHELF 2.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-4 0-RX
MPO-MP O-2	Rack 1. 1.Slot 1	MF-MPO-8LC	COM RX TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 2	9-SMR24FS	EXP RX TX - 1
LC-LC-2	Rack 1. 1.Slot 1	MF-MPO-8LC	DROP-T X 1	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	COM RX
LC-LC-2	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	COM TX	Rack 1. 1.Slot 1	MF-MPO-8LC	ADD-RX 1
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 1	TNCS-O	SFP2_TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 2	9-SMR24FS	OSC-RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 2	9-SMR24FS	OSC-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 1	TNCS-O	SFP2_R X
MPO-MP O-2	Rack 1. 1.Slot 2	MF-MPO-8LC	COM RX TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 16	9-SMR24FS	EXP RX TX - 1
LC-LC-2	Rack 1. 1.Slot 2	MF-MPO-8LC	DROP-T X 1	Rack 1. SHELF 2.Slot 1	MD-48-ODD	COM RX
LC-LC-2	Rack 1. SHELF 2.Slot 1	MD-48-ODD	COM TX	Rack 1. 1.Slot 2	MF-MPO-8LC	ADD-RX 1
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 17	TNCS-O	SFP2_TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 16	9-SMR24FS	OSC-RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 16	9-SMR24FS	OSC-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 17	TNCS-O	SFP2_R X

Data Centre D



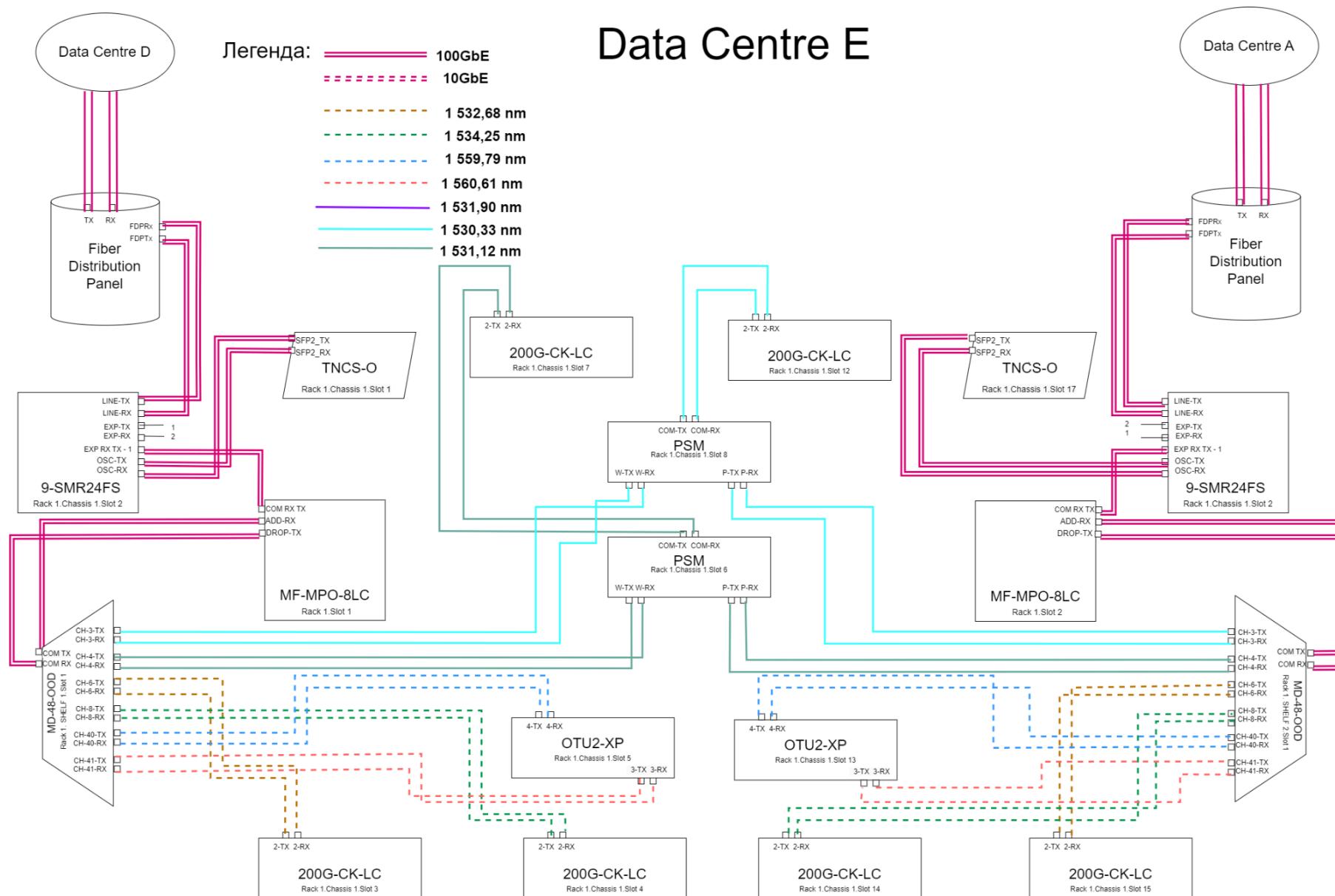
Фиг. 2.16. Външни връзки в Data Centre D

Таб. 2.17. Вътрешни връзки в Data Centre E

Name	Position - 1	Unit - 1	Port label - 1	Position - 2	Unit - 2	Port label - 2
Data Centre E						
Fiber	Rack 1. Chassis 1.Slot 2	9-SMR24FS	LINE-TX	NA	Fiber Distribution Panel	FDPRx
Fiber	NA	Fiber Distribution Panel	FDPTx	Rack 1. Chassis 1.Slot 2	9-SMR24FS	LINE-RX
Fiber	Rack 1. Chassis 1.Slot 16	9-SMR24FS	LINE-TX	NA	Fiber Distribution Panel	FDPRx
Fiber	NA	Fiber Distribution Panel	FDPTx	Rack 1. Chassis 1.Slot 16	9-SMR24FS	LINE-RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 2	9-SMR24FS	EXP-TX 10	Rack 1. Chassis 1.Slot 16	9-SMR24FS	EXP-RX 9
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 16	9-SMR24FS	EXP-TX 10	Rack 1. Chassis 1.Slot 2	9-SMR24FS	EXP-RX 9
LC-LC-2	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-6-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 3	200G-CK-LC	2-RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 3	200G-CK-LC	2-TX	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-6-RX
LC-LC-2	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-8-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 4	200G-CK-LC	2-RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 4	200G-CK-LC	2-TX	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-8-RX
LC-LC-2	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-41-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 5	OTU2-XP	3-RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 5	OTU2-XP	3-TX	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-41-RX
LC-LC-2	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-40-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 5	OTU2-XP	4-RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 5	OTU2-XP	4-TX	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-40-RX
LC-LC-2	Rack 1. SHELF 2.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-6-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 15	200G-CK-LC	2-RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 15	200G-CK-LC	2-TX	Rack 1. SHELF 2.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-6-RX
LC-LC-2	Rack 1. SHELF 2.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-8-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 14	200G-CK-LC	2-RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 14	200G-CK-LC	2-TX	Rack 1. SHELF 2.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-8-RX
LC-LC-2	Rack 1. SHELF 2.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-41-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 13	OTU2-XP	3-RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 13	OTU2-XP	3-TX	Rack 1. SHELF 2.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-41-RX
LC-LC-2	Rack 1. SHELF	MD-48-ODD	CHAN-40	Rack 1. Chassis	OTU2-XP	4-RX

Name	Position - 1	Unit - 1	Port label - 1	Position - 2	Unit - 2	Port label - 2
	2.Slot 1		-TX	1.Slot 13		
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 13	OTU2-XP	4-TX	Rack 1. SHELF 2.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-4 0-RX
LC-LC-2	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-3-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 6	PSM	W RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 6	PSM	W TX	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-3-RX
LC-LC-2	Rack 1. SHELF 2.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-3-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 6	PSM	P RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 6	PSM	P TX	Rack 1. SHELF 2.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-3-RX
LC-LC-2	Rack 1. SHELF 2.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-4-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 8	PSM	W RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 8	PSM	W TX	Rack 1. SHELF 2.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-4-RX
LC-LC-2	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-4-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 8	PSM	P RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 8	PSM	P TX	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	CHAN-4-RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 7	200G-CK-LC	2-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 6	PSM	COM RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 6	PSM	COM TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 7	200G-CK-LC	2-RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 12	200G-CK-LC	2-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 8	PSM	COM RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 8	PSM	COM TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 12	200G-CK-LC	2-RX
MPO-MP O-2	Rack 1. 1.Slot 1	MF-MPO-8LC	COM RX TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 2	9-SMR24FS	EXP RX TX - 1
LC-LC-2	Rack 1. 1.Slot 1	MF-MPO-8LC	DROP-T X 1	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	COM RX
LC-LC-2	Rack 1. SHELF 1.Slot 1	MD-48-ODD	COM TX	Rack 1. 1.Slot 1	MF-MPO-8LC	ADD-RX 1
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 1	TNCS-O	SFP2_TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 2	9-SMR24FS	OSC-RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 2	9-SMR24FS	OSC-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 1	TNCS-O	SFP2_RX
MPO-MP O-2	Rack 1. 1.Slot 2	MF-MPO-8LC	COM RX TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 16	9-SMR24FS	EXP RX TX - 1
LC-LC-2	Rack 1. 1.Slot 2	MF-MPO-8LC	DROP-T X 1	Rack 1. SHELF 2.Slot 1	MD-48-ODD	COM RX
LC-LC-2	Rack 1. SHELF 2.Slot 1	MD-48-ODD	COM TX	Rack 1. 1.Slot 2	MF-MPO-8LC	ADD-RX 1
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 17	TNCS-O	SFP2_TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 16	9-SMR24FS	OSC-RX
LC-LC-2	Rack 1. Chassis 1.Slot 16	9-SMR24FS	OSC-TX	Rack 1. Chassis 1.Slot 17	TNCS-O	SFP2_RX

Data Centre E



Фиг. 2.18. Вътрешни ерзъки в Data Centre E

2.4.5. Наличност на връзките

Наличността на връзката е процентът от времето, през което дадена мрежова връзка работи и е на разположение за предаване на данни - ключов показател при проектирането и управлението на DWDM мрежите. Наличието на връзка измерва надеждността и достъпността на оптичните връзки за предаване на данни. Ключовите съображения при проектирането на DWDM мрежи включват резервиране и защита, откриване и възстановяване на повреди и надеждност на мрежовите елементи. Резервното оборудване и разнообразните маршрути на оптичните влакна повишават устойчивостта на мрежата. Ефективните механизми за откриване на неизправности позволяват на мрежата бързо да идентифицира и да реагира на повреди на връзките. В оптичната преносна мрежа, която е предмет на дипломната работа е използвана картата на Cisco TNCS-O, описана в 1.14. Терминът "пет деветки" се отнася до наличността на системата и мрежата. Това е показател, който измерва времето за работа - т.е. колко често системата е в готовност за работа. Обикновено се измерва в проценти наличност за година, като обикновено варира от 99% до 99,999% от времето. На Таблица 2.19. е представена таблица с надеждността на всички връзки в оптичната преносна мрежа.

DWDM Card Type	Protection	Ci. Serv. Type	Source	Destination	Link Availability
200G-CK-LC(100G mode only)	Unprotected	100GE	Data Centre E	Data Centre A	0.999993
200G-CK-LC(100G mode only)	Unprotected	100GE	Data Centre E	Data Centre A	0.999993
OTU2-XP	Unprotected	10GE WAN PHY	Data Centre E	Data Centre A	0.999995
OTU2-XP	Unprotected	10GE WAN PHY	Data Centre E	Data Centre A	0.999995
200G-CK-LC(100G mode only)	Unprotected	100GE	Data Centre A	Data Centre B	0.999993
200G-CK-LC(100G mode only)	Unprotected	100GE	Data Centre A	Data Centre B	0.999993
OTU2-XP	Unprotected	10GE WAN PHY	Data Centre A	Data Centre B	0.999995
OTU2-XP	Unprotected	10GE WAN PHY	Data Centre A	Data Centre B	0.999995
200G-CK-LC(100G mode only)	PSM-OCH	100GE	Data Centre E	Data Centre C	0.999997
200G-CK-LC(100G mode only)	PSM-OCH	100GE	Data Centre B	Data Centre E	0.999997
200G-CK-LC(100G mode only)	Unprotected	100GE	Data Centre B	Data Centre C	0.999993
200G-CK-LC(100G mode only)	Unprotected	100GE	Data Centre B	Data Centre C	0.999993
OTU2-XP	Unprotected	10GE WAN PHY	Data Centre B	Data Centre C	0.999995
OTU2-XP	Unprotected	10GE WAN PHY	Data Centre B	Data Centre C	0.999995
200G-CK-LC(100G mode only)	PSM-OCH	100GE	Data Centre C	Data Centre B	0.999997
200G-CK-LC(100G mode only)	Unprotected	100GE	Data Centre C	Data Centre D	0.999993
200G-CK-LC(100G mode only)	Unprotected	100GE	Data Centre C	Data Centre D	0.999993
OTU2-XP	Unprotected	10GE WAN PHY	Data Centre C	Data Centre D	0.999995
OTU2-XP	Unprotected	10GE WAN PHY	Data Centre C	Data Centre D	0.999995
200G-CK-LC(100G mode only)	Unprotected	100GE	Data Centre D	Data Centre E	0.999997
200G-CK-LC(100G mode only)	Unprotected	100GE	Data Centre D	Data Centre E	0.999997
OTU2-XP	Unprotected	10GE WAN PHY	Data Centre D	Data Centre E	0.999996
OTU2-XP	Unprotected	10GE WAN PHY	Data Centre D	Data Centre E	0.999996

Таб. 2.19 Наличност на връзките в мрежата

Коефициентът за надеждност не е представен като процент, а като число. Това число се умножава по 100 и се превръща в процент. На таблицата е показано, че коефициентът е висок. Това е резултат от вземането на всички мерки за увеличаване на надеждността и наличността на връзките, които са описани по-горе. На таблицата са показани видовете на DWDM картите, видът на услугите, източникът, дестинацията и дали има защита.

3. Трета Глава. Проектиране и анализиране на мрежа за управление на оптичната преносна мрежа

3.1. Изисквания към мрежата за управление и наблюдение на оптичната преносна мрежа

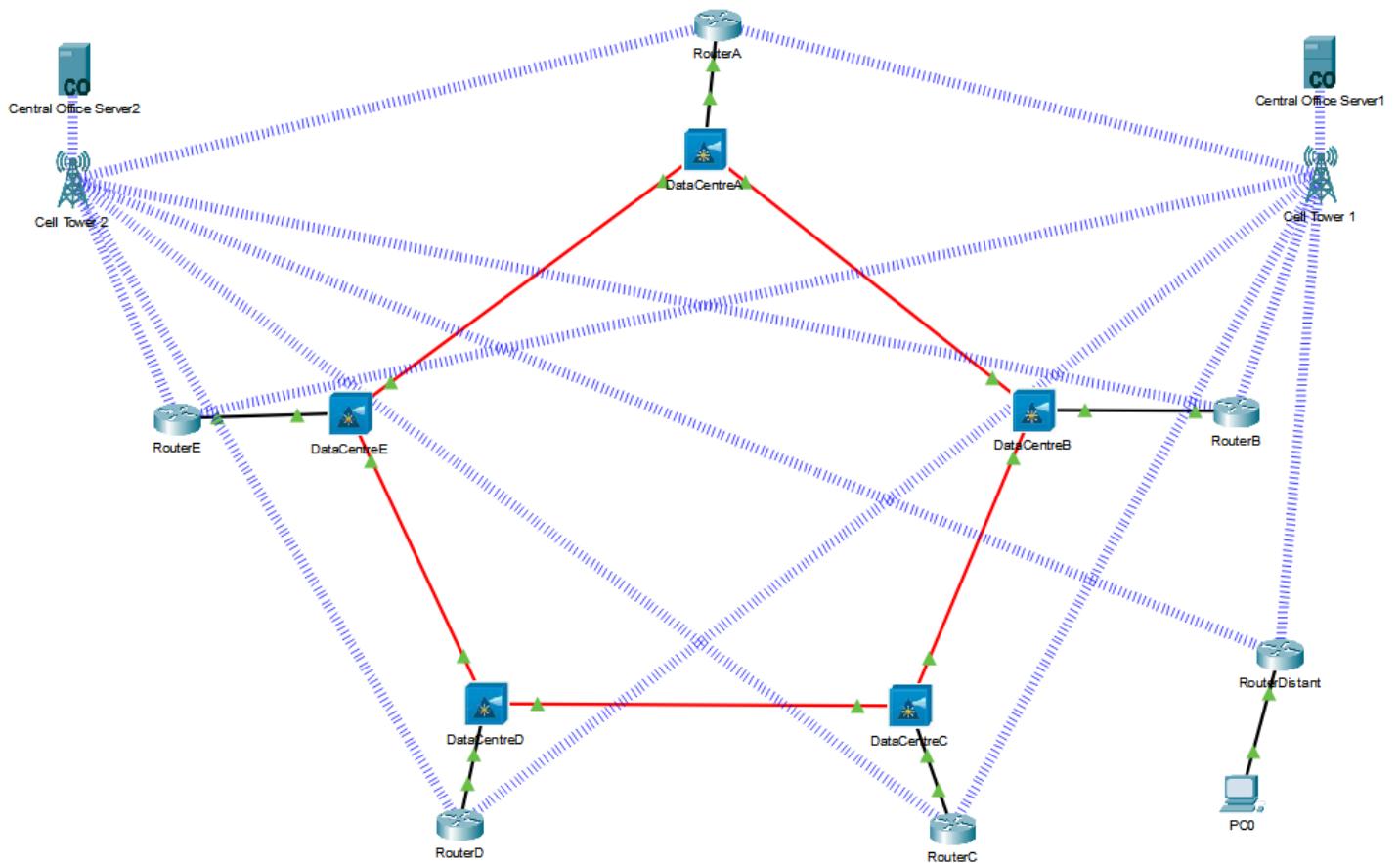
За цялостно управление и наблюдение на DWDM мрежата е необходима отделна комуникационна мрежа. Чрез тази комуникационна мрежа се позволява, мониторинг на параметрите на мрежата и бързо идентифициране и отстраняване на проблеми от далечно разстояние.

За да се изпълнят изискванията и да се реализира достъпът от разстояние е необходимо да се използва маршрутизиращия протокол между шаситата на всеки център за данни, да се изберат маршрутизатори на Cisco с поне два интерфейса, които да поддържат 3G/4G/LTE и да се използват два доставчика на мобилни услуги, за да се реализира резервираност. За проектирането на мрежата за управление е използван симулационния продукт на Cisco - Cisco Packet Tracer.

Cisco Packet Tracer е софтуерен продукт за симулация на мрежи, осигурява реалистична среда за визуализация на мрежови устройства и предоставя модели на реални индустриални решения на Cisco с всичките техни възможности.,

3.2. Топология на мрежата за управление

Топологията, показана на фигура 3.1. е реализирана чрез използването на протоколите OSPF и 3G/4G/LTE свързаност, като са използвани маршрутизатори Cisco 829, които имат по два интерфейса за мобилна свързаност.



Фиг. 3.1. Топология на мрежата за управление

3.3. Маршрутизиращ протокол OSPF

Open Shortest Path First (OSPF) е динамичен протокол за маршрутизация. Той е протокол със следене на състоянието на връзката (link-state protocol). Попада в групата на протоколите за вътрешна маршрутизация (interior gateways protocol - IGP), т.е. в рамките на една автономна мрежа.

OSPF изпраща пакети до директно свързани рутери, за да установява и поддържа съседства (adjacencies), да изпраща и получава заявки и да изпраща информация за състоянието на връзката (LSA) между съседите, за да могат да се създадат и синхронизират бази данни за състоянието на връзката (LSDB). Базите данни за състоянието на връзките се генерират от всички LSA, които маршрутизаторът в дадена област изпраща и получава. Информацията, която е в базата данни, се използва при изпълнение на алгоритъма SPF на Дийкстра. SPF алгоритъма се използва за създаване на SPF дърво, което от своя страна се използва за маршрутизиращата таблица на всеки маршрутизатор. Съществуват пет вида пакети, които OSPF изпраща и получава, те са:

- “Hello” служи за откриване на съседи на OSPF и установяване на adjacency. Също така при мрежите, които са с многоократен достъп (multi-access) се използва за избор на designated router (DR) и backup designated router (BDR). Служи и като “keep alive”, защото се изпраща периодично (всеки 30 секунди) през всички активни интерфейси

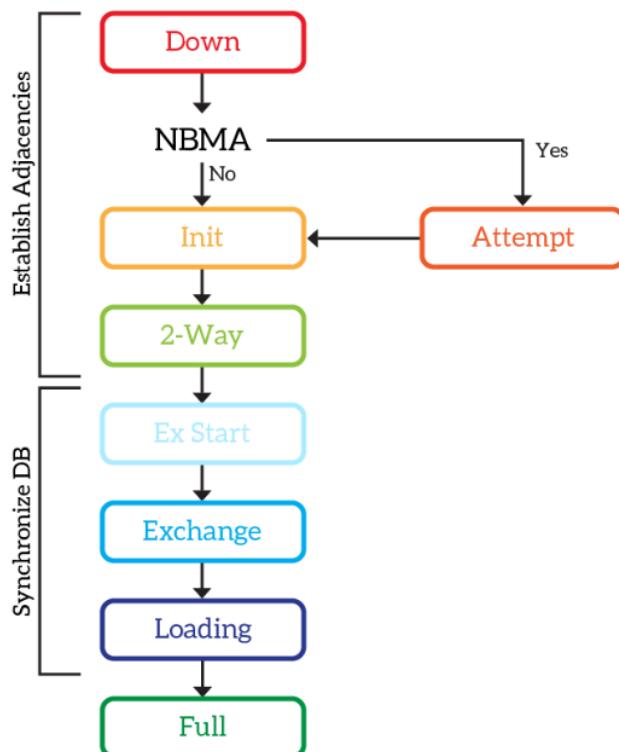
- “Database Description” проверява дали базата данни е синхронизирана между рутерите.
- “Link-State Request” пакетът се използва за изпращане на заявки за определени записи от базите данни, за да получат по-пълна информация и да запълнят своята база данни.
- “Link-State Update” изпраща желаната информация.
- “Link-State Acknowledgment” пакетът потвърждава получаването на другите видове пакети.

При OSPF два маршрутизатора преминават през осем състояния, за да се установи функционална комуникация между тях. Блокова диаграма на състоянията е представена на фигура 3.2. Състоянията са следните:

- “Down” - Рутерите не получават информация за съседите си.
- “Init” - OSPF рутерът е получил пакет “hello”, но не е установена двупосочна комуникация, защото рутерът, получил пакета, не вижда идентификаторът в пакета.
- “Attempt” - този вид важи само за Non-Broadcast Multi-Access (NBMA) мрежи и означава, че не е получен “Hello” пакет от съседа и рутерът ще изпрати unicast “Hello” пакет до съседа в рамките на 30 сек., т.е. на интервала на самия тип пакет.
- “2-Way” - Състояние, при което има осъществена двупосочна комуникация, избира се DR и BDR.
- “ExStart” - Определя се кой маршрутизатор отговаря за процеса на синхронизиране на базата данни. Рутерът с

по-голям идентификатор (Router ID) определя кой става master.

- “Exchange” - Рутерите си споделят DBD пакети и описват целите си локални бази данни.
- “Loading” - Изпращат се “Link-State Request” и се изисква цялата информация от съседа.
- “Full” - Осъществено е напълно функционално OSPF съседство, рутерът е получил пълна база данни от съседа си и се изпраща пакет от типа “Link-State Update”.



Фиг. 3.2. OSPF състояния

- Област (area) в OSPF се нарича група от маршрутизатори, които си споделят link-state информация. По принцип area 0 е опорната - "backbone" област на OSPF мрежата, а OSPF

областите с други номера обслужват други части от мрежата. Всяка област, която не е опорната трябва да бъде свързана към нея с директна или виртуална връзка. Областите в OSPF се номерират като IP адресите, но не са IP адреси. 224.0.0.5 е multicast адреса за всички OSPF маршрутизатори, а 224.0.0.6 е multicast адресът за всички DR маршрутизатори в мрежата. OSPF използва директно протокола IP (IP 89). Всяка област поддържа собствена база данни, чиято информация може да бъде представена в обобщен вид (summary) пред останалата част от мрежата. Така топологията на областта е неизвестна извън нея. И ще се намали трафика в мрежата.

“Backbone” област е опорната мрежа. Маршрутизацията между областите се осъществява чрез гранични рутери, имащи интерфейси и в опорната, и в някоя от другите области. Тези рутери се наричат Area Border Routers (ABRs). От опорната област се реализира и връзката на OSPF мрежата с външните мрежи с помощта на рутер, който има външен интерфейс - Autonomous System Border Router (ASBR).

“Stub” областта не получава външни за OSPF мрежата пътища с изключение на пътя по подразбиране за навън (default route). Но областта получава маршрути от другите области (inter-area).

“Totally Stub” областта получава само пътя по подразбиране от опорната област.

“Not-So-Stubby” областта получава само пътя по подразбиране от опорната област. Също така позволява на външни маршрути да се разпространяват в нея и в други области, но не и обратното.

В OSPF мрежите маршрутизаторите приемат информация за маршрутизация само от други маршрутизатори, които са конфигурирани със същата парола или информация за автентикация. Това е мярка за сигурност на операциите.

Метриката в OSPF е стойността на пътя и се определя от скоростта на интерфейса, който е към определения път. Избира се пътят с най-малка стойност. Съществуват няколко вида LSA пакети:

- Тип 1 - “Router” - Изброява съседни маршрутизатори и стойността до всеки от тях и се изпраща в рамките на една област.
- Тип 2 - “Network” - Генерира се от DR, съдържа списък на всички маршрутизатори в съседен сегмент и се изпраща в рамките на областта.
- Тип 3 - “Summary” - Генерира се от ABR и се разпространява между областите.
- Тип 4 - “ASBR Summary” - Разпространява се от ABR в опорната област, за да се обяви, че има ASBR в някоя област.
- Тип 5 - “External” - Генерира се от ASBR и се обявява наличието на път, който е външен за OSPF.
- Тип 7 - “NSSA External” - Генерира се от ASBR в “Not-So-Stubby” област.

При OSPF се избира DR и BDR, за да се намали трафика между рутерите и се избира само при мрежи, които не са от точка до точка. DR е маршрутизаторът с най-висок приоритет на OSPF интерфейса. BDR е маршрутизатор с втория по големина приоритет. Ако приоритетите на интерфейса OSPF са равни се използва най-високият идентификатор на маршрутизатора (Router ID). Този идентификатор се определя от системния администратор, ако не се използва най-големия loopback адрес. DR рутерът се променя само ако самият рутер се срине, OSPF процесът в рутера или multiaccess интерфейсът се сринат [19].

3.3.1. Конфигурация на OSPF

За конфигурирането на маршрутизиращия протокол OSPF в мрежата на управление на оптичната преносна мрежа е използван OSPF само с една област. Предимство на OSPF за една област е, че всеки маршрутизатор знае топологията на цялата мрежа, тоест всеки маршрутизатор винаги избира оптималния път до всяка точка. При проектирането на OSPF с една област всички маршрутизатори са в една и съща област, а трафикът между всички области се маршрутизира през една област. При проектиране на OSPF с една област всички области са равни и трафикът се маршрутизира между тях без предимство. При много областния дизайн на OSPF трафикът между областите се маршрутизира през опорната област.

Всички области използват една и съща база данни за състоянието на връзките в дизайна на OSPF само с една област. Всяка област обаче има своя собствена база данни за състоянието на връзките

в дизайна на OSPF с повече от една област. Поставянето на всички маршрутизатори в OSPF с една област е много по-просто за конфигуриране и поддръжка. Няма нужда от виртуални връзки, няма нужда от гранични маршрутизатори за зоната и няма нужда от гръбначни маршрутизатори. По принцип съществува “правилото”, че не е необходимо да се конфигурира OSPF с повече от една област освен ако маршрутизаторите не са повече от 20/25. Мрежата се състои само от 5 маршрутизатора и не е нужно да се усложнява конфигурацията и поддръжката на устройствата.

За конфигурирането на OSPF при всеки център за данни са използвани следните команди:

- **“router OSPF [process_ID]”**

Първата команда активира OSPF процес в маршрутизатора. Маршрутизаторът използва process_ID, за да разграничи OSPF процесите. Process_ID е числова стойност, която може да бъде всяко число от 1 до 65 535 и е локално значима.

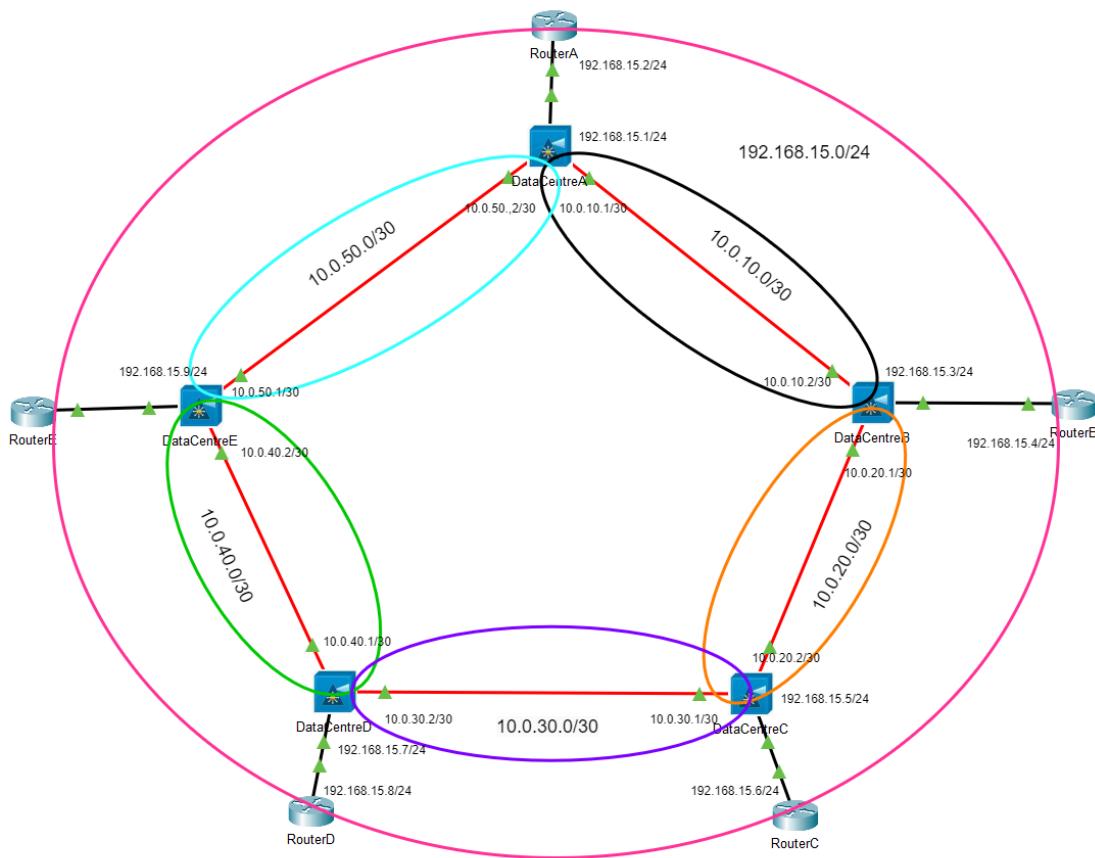
- **“network IP_network][wildcard_mask] area [area number]”**

Тази команда сравнява дадения IP адрес с IP адреса на всички интерфейси, ако има съвпадение се активира OSPF процеса на този интерфейс и добавя този интерфейс към дадената област OSPF. Използва се т. нар. “wildcard” маска за съвпадение на няколко интерфейса с един конфигурационен ред.

Area-id е номерът на областта, в която ще бъде интерфейсът. Area-id може да бъде цяло число между 0 и 4294967295. Конфигурацията на OSPF с една област поддържа всички

маршрутизатори в една област. Тъй като област 0 е задължителна, конфигурацията на OSPF с една област включва само област 0.

Логическата топология (Фиг. 3.3.), която показва разположението на устройствата, тяхната комуникация и мрежите към които са свързани и IP адресите, които използват, за да имат свързаност по между си.



Фиг. 3.3. Логическа топология на мрежата

Логическата топология представя с какви адреси са свързани шаситата на центровете за данни от оптичната транспортна мрежа са свързани чрез IP адреси и OSPF и

свързаността им към рутерите, които са свързани към доставчиците на мобилни услуги и позволяват отдалечената свързаност. Мрежите са

- A - B: 10.0.10.0/30;
- B - C: 10.0.20.0/30;
- C - D: 10.0.30.0/30;
- D - E: 10.0.40.0/30
- E -A: 10.0.50.0/30.

На фигура 3.4. е показана конфигурацията на маршрутизатора в център за данни А.

```
interface GigabitEthernet4/0
ip address 10.0.10.1 255.255.255.252
!
interface GigabitEthernet5/0
ip address 10.0.50.2 255.255.255.252
!
interface GigabitEthernet6/0
no ip address
shutdown
!
interface GigabitEthernet7/0
ip address 192.168.15.1 255.255.255.0
duplex auto
speed auto
!
router ospf 1
log-adjacency-changes
network 10.0.10.0 0.0.0.3 area 0
network 10.0.50.0 0.0.0.3 area 0
network 192.168.15.0 0.0.0.255 area 0
!
```

Фиг. 3.4. Конфигурация на OSPF

Фигурите от 3.5. до 3.9. представлят маршрутизиращите таблици на всеки център за данни, как са свързани центровете и дали маршрутизаторите научават по протокола OSPF някакви пътища. Забелязва се, че освен ако не са директно свързаните всеки от маршрутизаторите във всеки един от центровете за данни научава останалите пътища по OSPF, това е показано, чрез буквата “O” пред всеки път.

```
DataCentreA#sh ip route
Codes: C - connected, S - static, I - IGRP, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2, E - EGP
       i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, ia - IS-IS inter area
       * - candidate default, U - per-user static route, o - ODR
       P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is not set

      10.0.0.0/30 is subnetted, 5 subnets
C        10.0.10.0 is directly connected, GigabitEthernet4/0
O        10.0.20.0 [110/2] via 10.0.10.2, 01:23:57, GigabitEthernet4/0
O        10.0.30.0 [110/3] via 10.0.10.2, 01:23:57, GigabitEthernet4/0
                  [110/3] via 10.0.50.1, 01:23:57, GigabitEthernet5/0
O        10.0.40.0 [110/2] via 10.0.50.1, 01:23:57, GigabitEthernet5/0
C        10.0.50.0 is directly connected, GigabitEthernet5/0
      172.16.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
C          172.16.0.1 is directly connected, Loopback0
O        192.168.10.0/24 [110/3] via 192.168.15.2, 00:12:05, GigabitEthernet7/0
C        192.168.15.0/24 is directly connected, GigabitEthernet7/0
O        192.168.16.0/24 [110/2] via 192.168.15.2, 00:17:40, GigabitEthernet7/0
O        192.168.17.0/24 [110/2] via 192.168.15.2, 00:20:02, GigabitEthernet7/0
```

Фиг. 3.5. Маршрутизираща таблица на Data Centre A

```

DataCentreB#sh ip route
Codes: C - connected, S - static, I - IGRP, R - RIP, M - mobile, B - BGP
      D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
      N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
      E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2, E - EGP
      i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, ia - IS-IS inter area
      * - candidate default, U - per-user static route, o - ODR
      P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is not set

      10.0.0.0/30 is subnetted, 5 subnets
C        10.0.10.0 is directly connected, GigabitEthernet4/0
C        10.0.20.0 is directly connected, GigabitEthernet5/0
O        10.0.30.0 [110/2] via 10.0.20.2, 01:27:06, GigabitEthernet5/0
O        10.0.40.0 [110/3] via 10.0.10.1, 01:27:06, GigabitEthernet4/0
                  [110/3] via 10.0.20.2, 01:27:06, GigabitEthernet5/0
O        10.0.50.0 [110/2] via 10.0.10.1, 01:27:06, GigabitEthernet4/0
172.16.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
C          172.16.0.2 is directly connected, Loopback0
O        192.168.10.0/24 [110/3] via 192.168.15.4, 00:15:14, GigabitEthernet7/0
C        192.168.15.0/24 is directly connected, GigabitEthernet7/0
O        192.168.16.0/24 [110/2] via 192.168.15.4, 00:20:49, GigabitEthernet7/0
O        192.168.17.0/24 [110/2] via 192.168.15.4, 00:19:34, GigabitEthernet7/0

```

Фиг. 3.6. Маршрутизираща таблица на Data Centre B

```

DataCentreC#sh ip route
Codes: C - connected, S - static, I - IGRP, R - RIP, M - mobile, B - BGP
      D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
      N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
      E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2, E - EGP
      i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, ia - IS-IS inter area
      * - candidate default, U - per-user static route, o - ODR
      P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is not set

      10.0.0.0/30 is subnetted, 5 subnets
O        10.0.10.0 [110/2] via 10.0.20.1, 01:26:33, GigabitEthernet4/0
C        10.0.20.0 is directly connected, GigabitEthernet4/0
C        10.0.30.0 is directly connected, GigabitEthernet5/0
O        10.0.40.0 [110/2] via 10.0.30.2, 01:26:33, GigabitEthernet5/0
O        10.0.50.0 [110/3] via 10.0.20.1, 01:26:33, GigabitEthernet4/0
                  [110/3] via 10.0.30.2, 01:26:33, GigabitEthernet5/0
172.16.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
C          172.16.0.3 is directly connected, Loopback0
O        192.168.10.0/24 [110/3] via 192.168.15.6, 00:14:36, GigabitEthernet7/0
C        192.168.15.0/24 is directly connected, GigabitEthernet7/0
O        192.168.16.0/24 [110/2] via 192.168.15.6, 00:18:16, GigabitEthernet7/0
O        192.168.17.0/24 [110/2] via 192.168.15.6, 00:18:16, GigabitEthernet7/0

```

Фиг. 3.7. Маршрутизираща таблица на Data Centre C

```

DataCentreD#sh ip route
Codes: C - connected, S - static, I - IGRP, R - RIP, M - mobile, B - BGP
      D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
      N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
      E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2, E - EGP
      i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, ia - IS-IS inter area
      * - candidate default, U - per-user static route, o - ODR
      P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is not set

      10.0.0.0/30 is subnetted, 5 subnets
O        10.0.10.0 [110/3] via 10.0.30.1, 01:27:52, GigabitEthernet4/0
                  [110/3] via 10.0.40.2, 01:27:52, GigabitEthernet5/0
O        10.0.20.0 [110/2] via 10.0.30.1, 01:27:52, GigabitEthernet4/0
C        10.0.30.0 is directly connected, GigabitEthernet4/0
C        10.0.40.0 is directly connected, GigabitEthernet5/0
O        10.0.50.0 [110/2] via 10.0.40.2, 01:28:02, GigabitEthernet5/0
      172.16.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
C        172.16.0.4 is directly connected, Loopback0
O        192.168.10.0/24 [110/3] via 192.168.15.8, 00:16:00, GigabitEthernet7/0
C        192.168.15.0/24 is directly connected, GigabitEthernet7/0
O        192.168.16.0/24 [110/2] via 192.168.15.8, 00:18:50, GigabitEthernet7/0
O        192.168.17.0/24 [110/2] via 192.168.15.8, 00:18:40, GigabitEthernet7/0

```

Фиг. 3.8. Маршрутизираща таблица на Data Centre D

```

----,
DataCentreE#sh ip route
Codes: C - connected, S - static, I - IGRP, R - RIP, M - mobile, B - BGP
      D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
      N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
      E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2, E - EGP
      i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, ia - IS-IS inter area
      * - candidate default, U - per-user static route, o - ODR
      P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is not set

      10.0.0.0/30 is subnetted, 5 subnets
O        10.0.10.0 [110/2] via 10.0.50.2, 01:28:27, GigabitEthernet5/0
O        10.0.20.0 [110/3] via 10.0.40.1, 01:28:27, GigabitEthernet4/0
                  [110/3] via 10.0.50.2, 01:28:27, GigabitEthernet5/0
O        10.0.30.0 [110/2] via 10.0.40.1, 01:28:27, GigabitEthernet4/0
C        10.0.40.0 is directly connected, GigabitEthernet4/0
C        10.0.50.0 is directly connected, GigabitEthernet5/0
      172.16.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
C        172.16.0.5 is directly connected, Loopback0
O        192.168.10.0/24 [110/3] via 192.168.15.10, 00:16:35, GigabitEthernet7/0
C        192.168.15.0/24 is directly connected, GigabitEthernet7/0
O        192.168.16.0/24 [110/2] via 192.168.15.10, 00:18:55, GigabitEthernet7/0
O        192.168.17.0/24 [110/2] via 192.168.15.10, 00:18:55, GigabitEthernet7/0

```

Фиг. 3.9. Маршрутизираща таблица на Data Centre E

3.3.2. Тестване на свързаността на OSPF

```
DataCentreB#ping 10.0.10.1

Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 10.0.10.1, timeout is 2 seconds:
!!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 0/0/1 ms

DataCentreB#ping 10.0.50.1

Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 10.0.50.1, timeout is 2 seconds:
!!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 0/0/1 ms

DataCentreB#ping 10.0.40.1

Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 10.0.40.1, timeout is 2 seconds:
!!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 0/0/0 ms

DataCentreB#ping 10.0.30.2

Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 10.0.30.2, timeout is 2 seconds:
!!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 0/0/1 ms

DataCentreB#ping 10.0.20.2

Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 10.0.20.2, timeout is 2 seconds:
!!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 0/0/1 ms
```

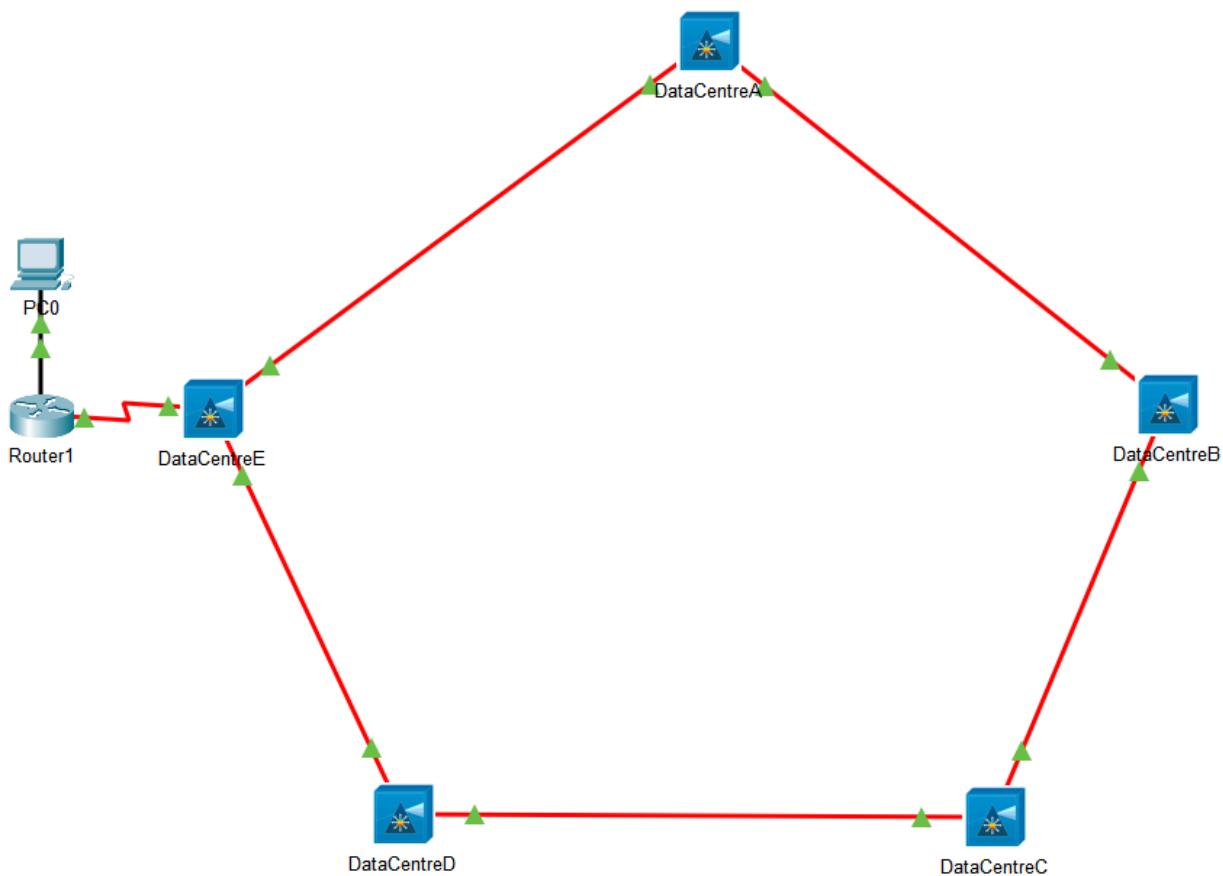
Фиг. 3.10. Тестване на свързаността между центровете за данни по OSPF

Свързаността е тествана, като е използван ping. Командата “ping” се използва за тестване и проверка на достъпимостта на хост в мрежа с интернет протокол (IP). Тя работи чрез изпращане на пакети от източника към хоста, който, ако е достъпен в мрежата, изпраща пакети обратно. След това хостът източник анализира връщащите се пакети, за да определи дали целевият хост е достъпен, и изчислява проста статистика на пакетите,

преминаващи през мрежата. На фигура 3.10. се забелязва, че всичко е преминало успешно и маршрутизаторите успяват да научат за другите мрежи по OSPF.

3.4. In band управление

Съществуват два вида управление на мрежата и първият от тях е *in band*. Това е вид управление на мрежата, което се осъществява по същия канал, по който се предават данните. Този вид управление изисква администраторът да се свърже през основния LAN интерфейс, за да може да управлява мрежата. Освен това, ако основният LAN, има проблеми и една от връзките има някакъв проблем, се губи свързаност към всеки от мрежата. На фигура 3.11. е показано как би изглеждала този вид мрежа за управление в контекста на оптичната преносна мрежа, която използва DWDM и на която е пуснат OSPF. Ако връзката се разпадне, трябва физически да се свържат администраторите със серийните портове на засегнатите устройства, които може да са на стотици или хиляди километра. В случая с оптичната транспортна мрежа, която е предмет на дипломната работа, не се използва този вид мрежа за управление, защото мрежата става трудна за разрастване, а се използват ROADM мултиплексори точно с цел да може мрежата да има скалируемост. Също така в контекста на DWDM оптичните мрежи, *in band* управлението изисква изпращане на допълнителни управляващи сигнали в същия диапазон на дължината на вълната, на които оптичните влакна пренасят данни, което потенциално може да предизвика грешки.



Фиг. 3.11. *In band* управление на мрежата

На фигура 3.11. е представена DWDM мрежата и *in band* мрежа за управление. В този случай Router1 е част от мрежата за пренасяне на данни и ако например оптичната връзка между центровете за данни А и В се разпадне, маршрутизаторът няма да има достъп до нито един от тези центрове за данни, така цялостната концепция за изграждане на мрежа за управление и наблюдение на оптичната преносна мрежа, се разпада.

3.5. Out of band управление

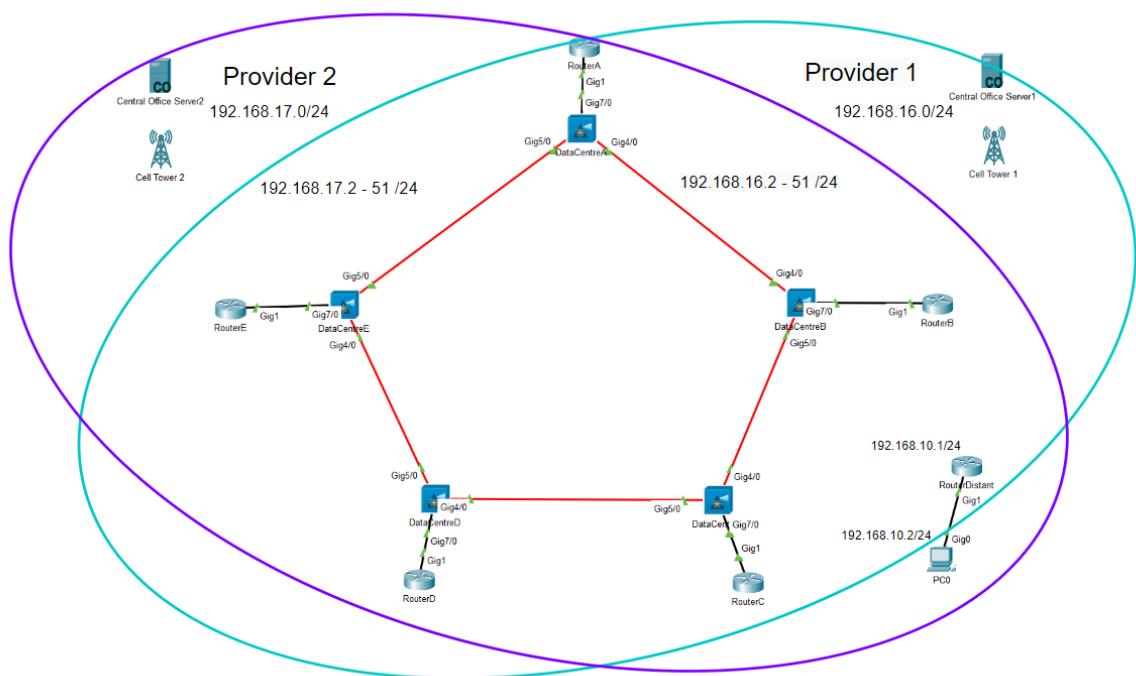
Основното предимство на този вид управление са неговите функционалности, когато основната мрежа е изключена, някое устройство е изключено или недостъпно. Out of band управлението се използва за дистанционно управление на устройства без значение дали има разкъсана връзка, или не. Основната идея е да се запази 24/7 работоспособността на оптичната транспортна мрежа, като се гарантира, че винаги има достъп до важни устройства като маршрутизатори, комутатори, защитни стени, сървъри, захранване, съхранение и телекомуникационни устройства, които управляват гръбначната оптична мрежа.

Когато устройствата, които трябва да бъдат наблюдавани, се намират на места извън офиса, трябва да се намери начин да се достъпват отдалечно, без да се натоварва основната мрежа. Out of band мрежите се използват, за да се осъществи наблюдението и управлението на основната от разстояние през интернет, WAN или през мобилната мрежа. Предимството на този вид мрежа в контекста на оптичните преносни мрежи е, че прекъсванията се свеждат до минимум, като се осигурява по-добра видимост на физическата среда и физическото състояние на оборудването. На фигура 3.12. е показана логическата свързаност на управляващата мрежа, която е проектирана за оптичната преносна мрежа, използваща технологията DWDM.

В out of band мрежите за управление се използва и 4G/LTE. Това дава възможност да се контролира мрежата, дори когато

критичната инфраструктура е отказала. Решенията за мрежи с 4G/LTE осигуряват високоскоростни връзки към критично оборудване, когато основната мрежа е повредена.

Предимствата на 4G/LTE свързаността включват това, че е почти универсално достъпна, осигурява непрекъсната работа на мрежата.



Фиг. 3.12. Логическа топология на out of band мрежа

3.5.1. Конфигурация на out of band мрежа за управление

На фигура 3.1. е показана изградената управляваща мрежа. Мрежата е проектирана, като са използвани два мобилни доставчика. Използвана е мобилна мрежа като решение, защото 3G, 4G LTE решенията осигуряват стабилност и предоставя

възможността мрежата да се контролира от разстояние. Този вид решение позволява дори, когато има разпадане на връзка в основната инфраструктура, да се установи проблема, като не се губи достъп до цялостната мрежа. В мрежата, показана на фигура 3.9. са два доставчика на мобилни услуги, за да може ако инфраструктурата на единия пропадне, да може да има резервираност и да не се губи цялостната връзка.

Използвани са индустриалните маршрутизатори на Cisco 829, защото предоставят надеждна и лесна за управление 3G/4G WAN свързаност. Този модел маршрутизатор разполага с два интерфейса за мобилна мрежа и за това е решението за мрежата за управление. Всеки един от рутерите е свързан към мобилните кули на мобилните оператори “ptcellular” и “ptnotsocellular”. Към всеки от операторите има DHCP сървър, който раздава адреси на всеки маршрутизатор, който е свързан към съответния оператор. На фигура 3.13. представя конфигурацията на този DHCP сървър. Определя се IP адресът на мобилната кула, съответната маска, от кой адрес да започне рутерът да раздава адреси, максималният брой потребители, на които да бъде даден адрес и какъв ще е обхватът на адресите.

За мобилния оператор “ptcellular” се раздават адреси от 192.168.16.2 до 192.168.16.51 с маска /24 и максималният брой на потребителите е 50.

DHCP				
IP Address:	192.168.16.1			
Subnet Mask:	255.255.255.0			
Start IP Address :	192	168	16	2
Maximum Number of Users :	50			
IP Address Range	192	168	16	2 -- 51
DNS Server	0.0.0.0			
<input type="button" value="Save"/> <input type="button" value="Cancel"/>				

Фиг. 3.13. DHCP сървър ptcellular

За мобилния оператор “ptnotsocellular” се раздават адреси от 192.168.17.2 до 192.168.17.51 с маска /24 и максималният брой на потребителите е 50. Показана е конфигурацията на DHCP сървъра на фигура 3.14.

DHCP				
IP Address:	192.168.17.1			
Subnet Mask:	255.255.255.0			
Start IP Address :	192	168	17	2
Maximum Number of Users :	50			
IP Address Range	192	168	17	2 -- 51
DNS Server	0.0.0.0			
<input type="button" value="Save"/> <input type="button" value="Cancel"/>				

Фиг. 3.14. DHCP сървър notsocellular

Конфигурацията на един от маршрутизаторите, които са свързани към мобилната мрежа е показана на фигура 3.15., конфигурациите на останалите маршрутизатори са аналогични.

```
interface GigabitEthernet0
ip address 192.168.15.2 255.255.255.0
duplex auto
speed auto
!
interface GigabitEthernet1
switchport access vlan 100
!
interface GigabitEthernet2
!
interface GigabitEthernet3
!
interface GigabitEthernet4
!
interface wlan-ap0
no ip address
!
interface Wlan-GigabitEthernet0
!
interface GigabitEthernet5
no ip address
duplex auto
speed auto
!
interface Cellular0
ip address negotiated
```

```
!  
interface Cellular1  
ip address negotiated  
!  
router ospf 1  
log adjacency changes  
network 192.168.15.0 0.0.0.255 area 0  
network 192.168.16.0 0.0.0.255 area 0  
network 192.168.17.0 0.0.0.255 area 0  
network 192.168.1.0 0.0.0.255 area 0  
network 192.168.10.0 0.0.0.255 area 0  
!  
line vty 0 4  
password admin  
no login  
transport input ssh  
!
```

Фиг. 3.15. Конфигурация на маршрутизатор

Командата “ip address negotiated” в конфигурацията активира динамичен адрес от доставчика на мобилни услуги. Маршрутизаторите автоматично договарят IP адрес с доставчика на услуги.

На маршрутизаторите, които са свързани към мобилната мрежа е пуснат също single area OSPF, чрез него може да се достъпва оптичната преносна мрежа от централизираната точка (PCO).

На фигури от 3.16. е показана маршрутизиращата таблица на маршрутизатор “Router E” с модел 829. За останалите маршрутизатори, които са свързани към 4G мрежата, таблицата е аналогична. Показани са всички мрежи, към които маршрутизаторът е свързан.

```

RouterE#sh ip route
Codes: L - local, C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
      D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
      N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
      E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2, E - EGP
      i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, ia - IS-IS inter area
      * - candidate default, U - per-user static route, o - ODR
      P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is 192.168.17.1 to network 0.0.0.0

      10.0.0.0/30 is subnetted, 5 subnets
O        10.0.10.0/30 [110/3] via 192.168.15.9, 00:20:37, GigabitEthernet0
                  [110/3] via 192.168.16.4, 00:20:37, Cellular0
                  [110/3] via 192.168.17.2, 00:20:37, Cellular1
                  [110/3] via 192.168.16.2, 00:20:37, Cellular0
                  [110/3] via 192.168.17.4, 00:20:37, Cellular1
O        10.0.20.0/30 [110/3] via 192.168.16.3, 00:20:37, Cellular0
                  [110/3] via 192.168.17.7, 00:20:37, Cellular1
                  [110/3] via 192.168.16.2, 00:20:37, Cellular0
                  [110/3] via 192.168.17.4, 00:20:37, Cellular1
O        10.0.30.0/30 [110/3] via 192.168.15.9, 00:20:37, GigabitEthernet0
                  [110/3] via 192.168.16.6, 00:20:37, Cellular0
                  [110/3] via 192.168.17.6, 00:20:37, Cellular1
                  [110/3] via 192.168.16.3, 00:20:37, Cellular0
                  [110/3] via 192.168.17.7, 00:20:37, Cellular1
O        10.0.40.0/30 [110/2] via 192.168.15.9, 00:20:37, GigabitEthernet0
O        10.0.50.0/30 [110/2] via 192.168.15.9, 00:20:37, GigabitEthernet0
O        192.168.10.0/24 [110/2] via 192.168.16.7, 00:18:07, Cellular0
                  [110/2] via 192.168.17.5, 00:18:07, Cellular1
          192.168.15.0/24 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
C          192.168.15.0/24 is directly connected, GigabitEthernet0
L          192.168.15.10/32 is directly connected, GigabitEthernet0
          192.168.16.0/24 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
C          192.168.16.0/24 is directly connected, Cellular0
L          192.168.16.5/32 is directly connected, Cellular0
          192.168.17.0/24 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
C          192.168.17.0/24 is directly connected, Cellular1
L          192.168.17.3/32 is directly connected, Cellular1
S*        0.0.0.0/0 [254/0] via 192.168.17.1
                  [254/0] via 192.168.16.1

```

Фиг. 3.16. Маршрутизираща таблица на Router E

3.5.2. Тестване на out of band мрежата за управление

На фигура 3.17. е показано тестването на свързаността на 3G/4G LTE мрежата за един от мобилните доставчици (ptcellular).

```
RouterDistant#traceroute 192.168.16.2
Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 192.168.16.2

 1  192.168.16.2    31 msec   192.168.16.2    41 msec   192.168.16.2    46 msec   192.168.16.2
RouterDistant#traceroute 192.168.16.3
Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 192.168.16.3

 1  192.168.16.3    41 msec   192.168.16.3    46 msec   192.168.16.3    50 msec   192.168.16.3
RouterDistant#traceroute 192.168.16.4
Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 192.168.16.4

 1  192.168.16.4    35 msec   192.168.16.4    39 msec   192.168.16.4    54 msec   192.168.16.4
RouterDistant#traceroute 192.168.16.5
Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 192.168.16.5

 1  192.168.16.5    24 msec   192.168.16.5    37 msec   192.168.16.5    40 msec   192.168.16.5
RouterDistant#traceroute 192.168.16.7
Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 192.168.16.7

 1  192.168.16.7    22 msec   192.168.16.7    36 msec   192.168.16.7    43 msec   192.168.16.7
```

Фиг. 3.17. Тестване на свързаността за доставчик 1 “ptcellular”

Тестването е осъществено чрез traceroute, което е метод за измерване на минималното време, необходимо за изпращане на възможно най-малък обем данни и получаване на отговор.

На фигура 3.18. е показано тестването на свързаността 3G/4G LTE мрежата за втория от мобилните доставчици (ptnotsocellular).

```

RouterDistant#traceroute 192.168.17.2
Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 192.168.17.2

 1  192.168.17.2    27 msec  192.168.17.2    39 msec  192.168.17.2    52 msec  192.168.17.2
RouterDistant#traceroute 192.168.17.3
Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 192.168.17.3

 1  192.168.17.3    16 msec  192.168.17.3    29 msec  192.168.17.3    40 msec  192.168.17.3
RouterDistant#traceroute 192.168.17.4
Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 192.168.17.4

 1  192.168.17.4    22 msec  192.168.17.4    41 msec  192.168.17.4    49 msec  192.168.17.4
RouterDistant#traceroute 192.168.17.5
Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 192.168.17.5

 1  192.168.17.5    33 msec  192.168.17.5    39 msec  192.168.17.5    45 msec  192.168.17.5
RouterDistant#traceroute 192.168.17.7
Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 192.168.17.7

 1  192.168.17.7    13 msec  192.168.17.7    24 msec  192.168.17.7    39 msec  192.168.17.7

```

Фиг. 3.18. Тестване на свързаността за доставчик 2 “ptnotsocellular”

На фигура 3.19. е показано тестването на мрежата за управление от централизираната точка РС0 до шасито на всеки един от центровете за данни. На фигура 3.20. е доказана работоспособността на мрежата за управление, защото РС0 има свързаност до всеки един от центровете за данни.

The screenshot shows a software interface for managing network devices. At the top, there are tabs: Physical, Config, Desktop, Programming, and Attributes. The 'Desktop' tab is selected. Below it is a 'Command Prompt' window with the following output:

```
C:\>ping 10.0.40.1

Pinging 10.0.40.1 with 32 bytes of data:

Reply from 10.0.40.1: bytes=32 time=87ms TTL=253
Reply from 10.0.40.1: bytes=32 time=90ms TTL=253
Reply from 10.0.40.1: bytes=32 time=91ms TTL=253
Reply from 10.0.40.1: bytes=32 time=123ms TTL=253
Reply from 10.0.40.1: bytes=32 time=38ms TTL=253
Reply from 10.0.40.1: bytes=32 time=42ms TTL=253
Reply from 10.0.40.1: bytes=32 time=43ms TTL=253
Reply from 10.0.40.1: bytes=32 time=51ms TTL=253
Reply from 10.0.40.1: bytes=32 time=45ms TTL=253
Reply from 10.0.40.1: bytes=32 time=96ms TTL=253
Reply from 10.0.40.1: bytes=32 time=111ms TTL=253
Reply from 10.0.40.1: bytes=32 time=129ms TTL=253
Reply from 10.0.40.1: bytes=32 time=63ms TTL=253

Ping statistics for 10.0.40.1:
    Packets: Sent = 4, Received = 13, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 38ms, Maximum = 129ms, Average = 77ms

C:\>ping 10.0.50.1

Pinging 10.0.50.1 with 32 bytes of data:

Reply from 10.0.50.1: bytes=32 time=39ms TTL=253
Reply from 10.0.50.1: bytes=32 time=70ms TTL=253
Reply from 10.0.50.1: bytes=32 time=82ms TTL=253
Reply from 10.0.50.1: bytes=32 time=101ms TTL=253
Reply from 10.0.50.1: bytes=32 time=49ms TTL=253
Reply from 10.0.50.1: bytes=32 time=51ms TTL=253
Reply from 10.0.50.1: bytes=32 time=53ms TTL=253
Reply from 10.0.50.1: bytes=32 time=76ms TTL=253
Reply from 10.0.50.1: bytes=32 time=59ms TTL=253
Reply from 10.0.50.1: bytes=32 time=93ms TTL=253
Reply from 10.0.50.1: bytes=32 time=113ms TTL=253
Reply from 10.0.50.1: bytes=32 time=125ms TTL=253
Reply from 10.0.50.1: bytes=32 time=40ms TTL=253

Ping statistics for 10.0.50.1:
    Packets: Sent = 4, Received = 13, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 39ms, Maximum = 125ms, Average = 73ms
```

Фиг. 3.19. Тестване на свързаността между централизираната точка и шасито на Data Centre C и Data Centre D

C:\>ping 10.0.10.1

Pinging 10.0.10.1 with 32 bytes of data:

Reply from 10.0.10.1: bytes=32 time=1283ms TTL=253

Reply from 10.0.10.1: bytes=32 time=1397ms TTL=253

Reply from 10.0.10.1: bytes=32 time=1700ms TTL=253

Reply from 10.0.10.1: bytes=32 time=1720ms TTL=253

Reply from 10.0.10.1: bytes=32 time=35ms TTL=253

Reply from 10.0.10.1: bytes=32 time=48ms TTL=253

Reply from 10.0.10.1: bytes=32 time=56ms TTL=253

Reply from 10.0.10.1: bytes=32 time=56ms TTL=253

Reply from 10.0.10.1: bytes=32 time=54ms TTL=253

Reply from 10.0.10.1: bytes=32 time=74ms TTL=253

Reply from 10.0.10.1: bytes=32 time=87ms TTL=253

Reply from 10.0.10.1: bytes=32 time=100ms TTL=253

Reply from 10.0.10.1: bytes=32 time=43ms TTL=253

Ping statistics for 10.0.10.1:

Packets: Sent = 4, Received = 13, Lost = 0 (0% loss),

Approximate round trip times in milli-seconds:

Minimum = 35ms, Maximum = 1720ms, Average = 511ms

C:\>ping 10.0.20.1

Pinging 10.0.20.1 with 32 bytes of data:

Reply from 10.0.20.1: bytes=32 time=23ms TTL=253

Reply from 10.0.20.1: bytes=32 time=25ms TTL=253

Reply from 10.0.20.1: bytes=32 time=70ms TTL=253

Reply from 10.0.20.1: bytes=32 time=83ms TTL=253

Reply from 10.0.20.1: bytes=32 time=38ms TTL=253

Reply from 10.0.20.1: bytes=32 time=40ms TTL=253

Reply from 10.0.20.1: bytes=32 time=44ms TTL=253

Reply from 10.0.20.1: bytes=32 time=45ms TTL=253

Reply from 10.0.20.1: bytes=32 time=31ms TTL=253

Reply from 10.0.20.1: bytes=32 time=48ms TTL=253

Reply from 10.0.20.1: bytes=32 time=70ms TTL=253

Reply from 10.0.20.1: bytes=32 time=96ms TTL=253

Reply from 10.0.20.1: bytes=32 time=55ms TTL=253

Ping statistics for 10.0.20.1:

Packets: Sent = 4, Received = 13, Lost = 0 (0% loss),

Approximate round trip times in milli-seconds:

Minimum = 23ms, Maximum = 96ms, Average = 51ms

C:\>ping 10.0.30.1

Pinging 10.0.30.1 with 32 bytes of data:

Reply from 10.0.30.1: bytes=32 time=21ms TTL=253

Reply from 10.0.30.1: bytes=32 time=54ms TTL=253

Reply from 10.0.30.1: bytes=32 time=94ms TTL=253

Reply from 10.0.30.1: bytes=32 time=107ms TTL=253

Reply from 10.0.30.1: bytes=32 time=27ms TTL=253

Reply from 10.0.30.1: bytes=32 time=57ms TTL=253

Reply from 10.0.30.1: bytes=32 time=57ms TTL=253

Reply from 10.0.30.1: bytes=32 time=58ms TTL=253

Reply from 10.0.30.1: bytes=32 time=17ms TTL=253

Reply from 10.0.30.1: bytes=32 time=24ms TTL=253

Reply from 10.0.30.1: bytes=32 time=24ms TTL=253

Reply from 10.0.30.1: bytes=32 time=25ms TTL=253

Reply from 10.0.30.1: bytes=32 time=49ms TTL=253

Ping statistics for 10.0.30.1:

Packets: Sent = 4, Received = 13, Lost = 0 (0% loss),

Approximate round trip times in milli-seconds:

Minimum = 17ms, Maximum = 107ms, Average = 47ms

C:\>ping 10.0.40.1

Pinging 10.0.40.1 with 32 bytes of data:

Reply from 10.0.40.1: bytes=32 time=87ms TTL=253

Reply from 10.0.40.1: bytes=32 time=90ms TTL=253

Reply from 10.0.40.1: bytes=32 time=91ms TTL=253

Reply from 10.0.40.1: bytes=32 time=123ms TTL=253

Reply from 10.0.40.1: bytes=32 time=38ms TTL=253

Reply from 10.0.40.1: bytes=32 time=42ms TTL=253

Reply from 10.0.40.1: bytes=32 time=43ms TTL=253

Reply from 10.0.40.1: bytes=32 time=51ms TTL=253

Reply from 10.0.40.1: bytes=32 time=45ms TTL=253

Reply from 10.0.40.1: bytes=32 time=96ms TTL=253

Reply from 10.0.40.1: bytes=32 time=111ms TTL=253

Reply from 10.0.40.1: bytes=32 time=129ms TTL=253

Reply from 10.0.40.1: bytes=32 time=63ms TTL=253

Ping statistics for 10.0.40.1:

Packets: Sent = 4, Received = 13, Lost = 0 (0% loss),

Approximate round trip times in milli-seconds:

Minimum = 38ms, Maximum = 129ms, Average = 77ms

C:\>ping 10.0.50.1

Pinging 10.0.50.1 with 32 bytes of data:

Reply from 10.0.50.1: bytes=32 time=39ms TTL=253

Reply from 10.0.50.1: bytes=32 time=70ms TTL=253

Reply from 10.0.50.1: bytes=32 time=82ms TTL=253

Reply from 10.0.50.1: bytes=32 time=101ms TTL=253

Reply from 10.0.50.1: bytes=32 time=49ms TTL=253

Reply from 10.0.50.1: bytes=32 time=51ms TTL=253

Reply from 10.0.50.1: bytes=32 time=53ms TTL=253

Reply from 10.0.50.1: bytes=32 time=76ms TTL=253

Reply from 10.0.50.1: bytes=32 time=59ms TTL=253

Reply from 10.0.50.1: bytes=32 time=93ms TTL=253

Reply from 10.0.50.1: bytes=32 time=113ms TTL=253

Reply from 10.0.50.1: bytes=32 time=125ms TTL=253

Reply from 10.0.50.1: bytes=32 time=40ms TTL=253

Ping statistics for 10.0.50.1:

Packets: Sent = 4, Received = 13, Lost = 0 (0% loss),

Approximate round trip times in milli-seconds:

Minimum = 39ms, Maximum = 125ms, Average = 73ms

Фиг. 3.20. Доказване на работоспособността на мрежата за управление

Заключение

В дипломната работа е разгледано решение за преносна мрежа за интернет доставчик, като се използва технологията DWDM.

Изградени са два канала по 10 GbE и по 100 GbE и между три центъра за данни има по един канал 100 GbE, служещи за резервираност на оптичната транспортна мрежа и са избрани съответните дължини на вълните.

Оптичната преносна мрежа е анализирана и тествана, като е използван специален софтуерен продукт за оразмеряване на DWDM мрежи.

Разгледани са всички компоненти за изграждането на оптична мрежа и са избрани необходимите компоненти, като кабел G.655.

Проектирана е мрежа за управление и наблюдение на оптичната транспортна мрежа, като е използван маршрутизиращия протокол OSPF и out of band методология, за да се изгради отдалечена свързаност чрез 3G/4G/LTE.

Мрежата за управление е тествана и анализирана. Направено е сравнение с друг вид мрежа за управление.

За отдалечената свързаност е избран маршрутизатор с подходящи спецификации и са конфигурирани DHCP сървъри за адресните пространства, които отговарят за всеки един от доставчиците на мобилни услуги.

Реализирана е свързаност между оптичната преносна мрежа и централизираната отдалечена точка за достъп.

Използвана литература

1. Cisco Systems, Inc. *Introduction to DWDM for Metropolitan Networks*, 2000.
2. Stamatios V. Kartalopoulos, *DWDM: Networks, devices and technology*, 2003.
3. <https://medium.com/@sylvieliu66/single-mode-fiber-type-g652-vs-g655-fiber-fbbcc6db67ee> - Single Mode Fiber Type: G652 vs G655 Fiber - последно посетен на 13.12.2023 г.
4. <https://community.fs.com/article/an-overview-of-dwdm-technology-and-dwdm-system-components.html> - An Overview of DWDM Technology and DWDM System Components - последно посетен на 04.02.2024 г.
5. <https://www.thunder-link.com/comparison-between-edfa-and-raman-amplifiers> - Comparison Between EDFA and Raman Amplifiers - последно посетен на 24.12.2023 г.
6. <https://community.fs.com/article/muxponder-vs-transponder-what-s-their-difference-in-otn-network.html> - Muxponder vs Transponder: What's Their Difference in OTN Network? - последно посетен на 27.12.2023 г.
7. <https://www.tutorialspoint.com/frequency-division-multiplexing> - Frequency Division Multiplexing - последно посетен на 04.01.2024 г.
8. https://www.tutorialspoint.com/optical_networks/optical_ne tworks_wdm_technology.htm - Optical Networks - WDM Technology - последно посетен на 27.12.2023 г.

9. <https://www.optcore.net/introduction-to-dwdm/> - What is DWDM? A Beginner Guide - последно посетен на 26.02.2024 г.
10. <https://community.fs.com/article/cwdm-cost-effective-alternative-to-expand-network-capacity.html> - CWDM - Cost-Effective Alternative to Expand Network Capacity - последно посетен на 16.02.2024 г.
11. https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/optical-networking/ons-15454-series-multiservice-transport-platforms/data_sheet_c78-658849.html - Cisco Transport Planner: Optical Network Design Tool for Cisco ONS 15454 MSTP - последно посетен на 18.01.2024 г.
12. <https://www.fiber-optic-solutions.com/dwdm-topology-design-make-right.html> - DWDM Topology Design: How to Make it Right? - последно посетен на 13.12.2023 г.
13. https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/optical/15000r9_2_1/dwdm/reference/guide/454d921_referenceguide/454d921_optproswcard.pdf - Protection Switching Module. - последно посетен на 04.02.2024 г.
14. <https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/optical-networking/ons-15454-series-multiservice-transport-platforms/datasheet-c78-602903.html#TNCSOandTNCS2OFeatures> - Cisco Transport Node Controller. - последно посетен на 04.02.2024 г.

15. <https://www.anritsu.com/en-au/sensing-devices/products/soa> - SOA (Semiconductor Optical Amplifier). - последно посетен на 24.12.2023 г.
16. <https://hal.science/hal-01062321/document> - Routing and Wavelength Assignment in Optical Networks. - последно посетен на 05.01.2023 г.
17. <https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/optical-networking/network-convergence-system-2000-series/datasheet-c78-733699.html> - Cisco NCS 2000 200-Gbps Multirate DWDM Line Card Data Sheet - последно посетен на 25.02.2024 г.
18. <https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/ip/open-shortest-path-first-ospf/7039-1.html> - Understand Open Shortest Path First (OSPF) - последно посетен на 04.02.2024 г.
19. <https://circuitglobe.com/optical-modulation.html> - Optical Modulation - последно посетен на 14.02.2024 г.
20. https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/optical/metroplanner/metroplanner_11/operations/guide/b-454mp-opsguide-11/454mp_opsguide_chapter_011.html#task_1071144 - Cisco Transport Planner DWDM Operations Guide - последно посетен на 18.02.2024 г.
21. https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/optical-networking/ons-15454-series-multiservice-provisioning-platforms/data_sheet_c78-500937.html - Multirate DWDM OTU2 Xponder Card for the Cisco ONS 15454 MSTP Data Sheet - последно посетен на 25.02.2024 г.

22. <https://www.thefoa.org/tech/wavelength.htm>-Understanding Wavelengths In Fiber Optics - последно посетен на 15.01.2024 г.
23. <https://community.fs.com/article/dwdm-mux-demux-overview-working-principle-and-different-types.html> - DWDM Mux/Demux Overview-Working Principle and Different Types - последно посетен на 26.12.2023 г.
24. <https://www.fiberlabs.com/glossary/optical-communication-band/#:~:text=Fiber%2Doptic%20communication%20is%20mainly,in%20Figure%201%20and%202>.-Optical Communication Band - последно посетен на 14.12.2024 г.
25. <https://community.fs.com/article/four-types-connectors-of-fiber-optic-patch-cable.html> - Fiber Connectors - последно посетен на 25.02.2024 г.
26. <https://www.tutorialspoint.com/explain-the-time-division-multiplexing-tdm> - Explain the Time Division Multiplexing (TDM). - последно посетен на 25.01.2024 г.