

ПРОЕКТИРАНЕ НА ОПТИЧНИТЕ МРЕЖОВИ СТРУКТУРИ ПРИ ПРЕМИНАВАНЕ ОТ 'LAN' КЪМ 'PON' МРЕЖИ В НАШИ УСЛОВИЯ

Бойко Харлов, Огнян Велчев – „МУЛТИМЕДИА БГ” ЕООД

I. УВОД

Постоянно увеличаващото се търсене на широколентови услуги от увеличавания обем на генериран трафик в комуникационните мрежи е мотивираната необходимост за развитие на мрежи от следващо поколение и преминаване на класическите хибридни оптично-медни LAN (Local Area Network) мрежи към мрежи от типа PON (Passive Optical Networking). Целта на този проект е да се изгради една среда, която ще ни позволи изследването в дълбочина на FTTx (Fiber To The 'X') мрежи, както и при избора на оптимален вариант за тази среда. Разгледани са основните топологии на FTTx мрежите, а именно от точка до точка и от точка до много точки.

Във втората част на тази статия е показана практическа реализация на изложената теория при проектирането на мрежа на фирмата в град с около 1000 абоната. Тази реализация освен че онагледява изложената теория, може да послужи като помагало при проектирането и експлоатацията на PON мрежи.

II. ОБЩИ ПРИНЦИПИ НА ПРОЕКТИРАНЕТО

В съвременните системи за пренос на информация оптичното влакно е в състояние да поддържа услуги от следващо поколение. Известни са предимствата на оптичните влакна като: по-висока пропускателна способност, по-дълги разстояния без регенерация, по-висока устойчивост на електромагнитни смущения, увеличена сигурност, намаляване на факторите, които предизвикват влошаване на сигнала. С PON технологията се премахва необходимостта от използването на регенератори и оптични усилватели, което намалява първоначалната инвестиция за клиент, намаляват се и потенциалните точки на отказ по мрежата. Разпространението на широколентови приложения като телевизия с висока и свръхвисока разделителна способност (HDTV, 4K-UHD), широколентов достъп до интернет предизвиква нарастващ интерес сред доставчиците на услуги чрез подобряване на мрежите за доставка на такива услуги както за отделни физически лица, така и за бизнеса.

Тенденцията през последните години е в класическите хибридни оптично-медни мрежи да се разширява оптичната среда, като такъв тип мрежи се наричат още „влакно” до определено местоположение *X* в мрежата (FTTx - fiber to the *X*). Местоположението *X* определя типа „последна миля” и се описва по следните възможни начини:

- **FTTN/FTTLA** (*fiber-to-the-node, -neighborhood, -last-amplifier* – оптика до възел, съседен имот, последен усилвател). Оптиката завършва в уличен шкаф до километър от сградата на абоната (или миля - сухопътна миля = 1609 m, морска миля = 1853,249 m; това е една минута или 1/60 от градуса на дъгата на меридиана).

- **FTTC/FTTK** (*fiber-to-the-curb/kerb, -closet, or -cabinet* - оптика до тротоара, отделно помещение, барака, шкаф): Подобно на FTTN, но уличният шкаф или стълб е по-близо до абоната, примерно 300 m.

- **FTTdp** (*Fibre To The Distribution Point* - оптика до разпределителна точка). Подобно на FTTC/FTTN, но още по-близо до абонатното помещение, най-често разпределителен шкаф.

- **FTTP** (*fiber-to-the-premises* - оптика до група къщи, квартал). Този термин може да означава нещо средно между FTTH и FTTB, но може и да се смесва с неясното *fiber-to-the-pole* (оптика до стълб) и *fiber-to-the-point* (оптика до точка).

- **FTTB** (*fiber-to-the-building, -business, or -basement* - оптика до сграда, до бизнес точка, до мазето). Най-често става дума за входна точка на сграда.

- **FTTH** (*fiber-to-the-home* - оптика до абонат, жилище, служебно помещение). Оптиката достига до жилището, до специална кутия вътре или от външната стена на жилищното помещение на абоната. Подобни са архитектурите, наречени PON (Passive optical networks) и „точка до точка“ (point-to-point) Ethernet.

- **FTTD** (*fiber-to-the-desktop* - оптика до бюрото): може да означава оптична свързаност в сграда, например между главния сървър и терминалните компютри или оптичен медиа конвертор в помещението.

- **FTTE/FTTZ** (*fiber-to-the-telecom-enclosure* or *fiber-to-the-zone* - оптика до вътрешна зона). Използва се за означаване на определено структурно окабеляване на сгради и не се разглежда като вид FTTH.

Съществува предположението в бъдеще кабелните мрежи да се преобразуват в оптични системи от типа FTTH, които ще поемат предоставянето на всякакъв вид информация през оптични линии до дома на абонатите. Това и сега е физически възможно, но е икономически неоправдано.

За да се осигури високоскоростен канал до всеки краен потребител е необходимо да бъдат изпълнени два етапа на проектирането на PON мрежите:

1. Първият етап се състои в определянето на всички физически и структурни елементи, които изграждат топологията на Оптична разпределителна мрежа ODN (Optical Distribution Network), от нейното начало до всеки битов или корпоративен абонат. Основно тук се избира броят на крайните точки ONU в начална фаза на разгръщане на мрежата, като се отчита очакваното развитие; броя на оптичните сплитери и затихването с отчитане нивата на сигналите в права и обратна посока и чувствителността на приемните устройства;

2. Вторият етап включва проектирането на активната част от мрежата. Състои се в избора на всички комуникационни съоръжения и други активни елементи, които позволяват преноса на данни от централата до офисите и домовете на всички крайни потребители на услугите. Тази втора част е свързана и със специфични изисквания към устройствата в зависимост от това каква политика би избрал доставчика за пренос на данни и (или) телевизия, което предполага изключително много и различни конфигурации на различни производители. Основно тук се избира концепцията EPON (Ethernet PON) или GPON (Gigabit PON); вида и броя на главните терминали OLT (Optical Line Termination), както и вида на крайни устройства ONU (Optical Network Unit); изчисляват се енергийните нива; вида и характеристиките на устройствата за мултиплексиране по дължината на светлинната вълна WDM (Wavelength Division Multiplexing), които използват в права посока за EPON 1490 nm, в обратна посока 1310 nm; а за GPON в права посока 1575-1580 nm, в обратна посока 1260-1280 nm (Фиг. 2).

PON WDM е технология, която комбинира множество оптични честоти през едно влакно и позволява канал с дължина на вълната 1550 nm, пренасящ RF видео сигнал да бъде мултиплексиран по PON влакно (Фиг. 3).

Технологията PON е започнала да се развива от средата на 90-те години. Значително развитие претърпява в периода на годините след 2000 г. за да предложи решения за гигабитова скорост за пренос на Ethernet и IP услуги. В резултат на това, двете най-големи световни организации по стандартизация – IEEE (Институт на инженерите по електроника и електротехника) и ITU (International Telecommunication Union) – Международен съюз по

далекосъобщения, успоредно разработват две много различни решения, съответно EPON - Ethernet Passive Network (от IEEE) и GPON - Gigabit Passive Network (от ITU).

Въпреки, че главната концепция и на двете решения е една и съща за двата стандарта EPON и GPON – опериране чрез пасивни оптични мрежи (PON), то структурата на пренос по мрежа от оптични влакана (ODN Optical Distribution Network), уплътняването по дължините на вълната и тяхното опериране е коренно различно, тъй като използваните и поддържани от тях елементи са различни.

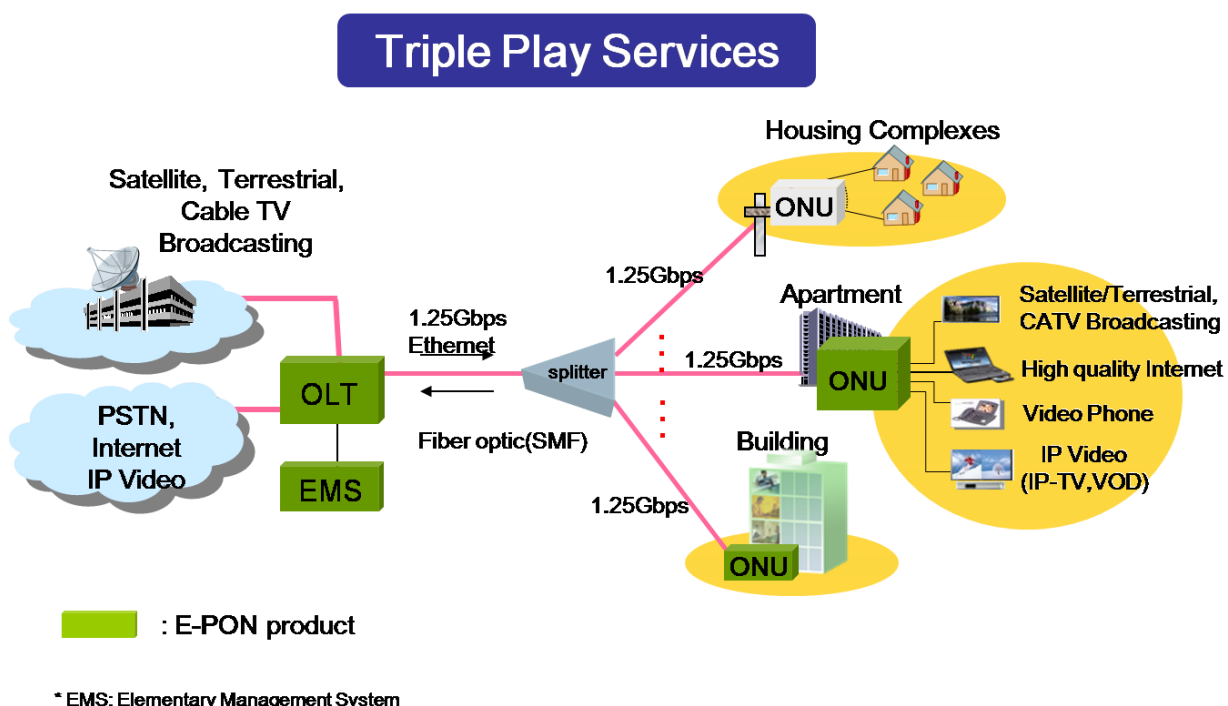
EPON е чисто Ethernet решение, което използва елементите, съвместимост и съгласуване с Ethernet протокола, докато GPON оперира посредством техниките на SONET/SD и GFP (General Framing Protocol) за транспорт на Ethernet (данни).

Първоначално предлагането на PON през началото и средата на 90-те години се базира на ATM framing (Asynchronous Transfer Mode) – структура на асинхронен трансфер на данни и пакети - (APON, BPON). С бурното развитие на Интернет и Интранет базирания трафик през следващите години, ATM базирания BPON системи показаха своята неефективност, тъй като разрастващият се трафик в преносните мрежи беше съставен от различни обеми и времетраене на IP трафика. Това доведе до развитие на чисто Ethernet -базирани PON (EPON) системи, взимайки предимствата от появилия се висококачествен (QoS – Quality of Service) Гигабитов Ethernet суич, създаден по Ethernet стандартите (VLAN-и, приоритизация, OAM), както и ценово ефективната интеграция с други Ethernet устройства.

Повечето оператори, включително и ние, предпочитаме да се придържаме към стандарта EPON/GEPON

III. СТРУКТУРА НА PON

A. Обща структура



Фиг. 1. Структура на PON

Пасивната оптична мрежа (PON) е система, която осигурява оптично окабеляване и доставя сигнал до крайния потребител. В зависимост от това, къде се намира PON терминалът, системата се описва като Fiber-to-the-curb (FTTC), fiber-to-the-building (FTTB)

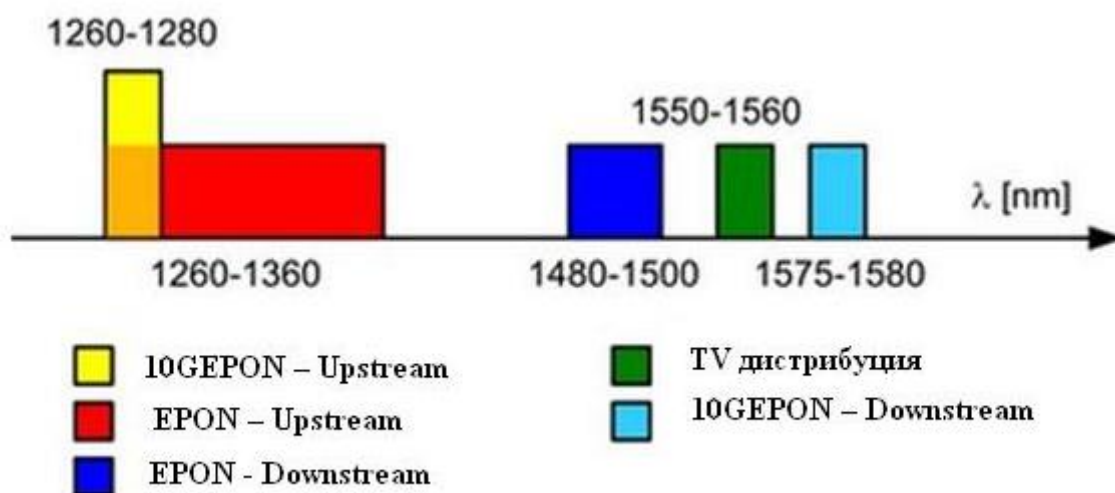
или fiber-to-the-home (FTTH). Архитектурата на мрежата FTTH е показана на Фиг. 1. „Пасивна” означава, че разклоненията не се нуждаят от мрежово захранване.

При PON технологията се използват оптични влакна до сградата или директно до всеки клиент, като по едно влакно може да се изпраща сигнал до множество клиенти – всеки клиент получава своя сигнал в различен времеви интервал. Структурата Point-to-Multipoint – от точка до множество точки, съдържа главен терминал OLT, инсталиран в средата на мрежата, към който са свързани множество крайни устройства ONU при крайния потребител посредством 1:N оптичен сплитер. Срещат се понякога и като ONT (Optical Network Terminal) и служат за преобразуване на оптичния сигнал обратно в Ethernet сигнал, телефония, WiFi или друг сигнал и могат да бъдат свързани към компютри, LAN, телефон, ТВ, домашна автоматизация или други устройства в дома на абоната.

Б. Разпределение на цифровите потоци по дължина на вълната

Оптична разпределителна мрежа по стандарта EPON/GEAPON предвижда да обслужва всяко ONU с едно одномодово оптично влакно, използвайки следните дължини на оптичната вълна (Фиг. 2):

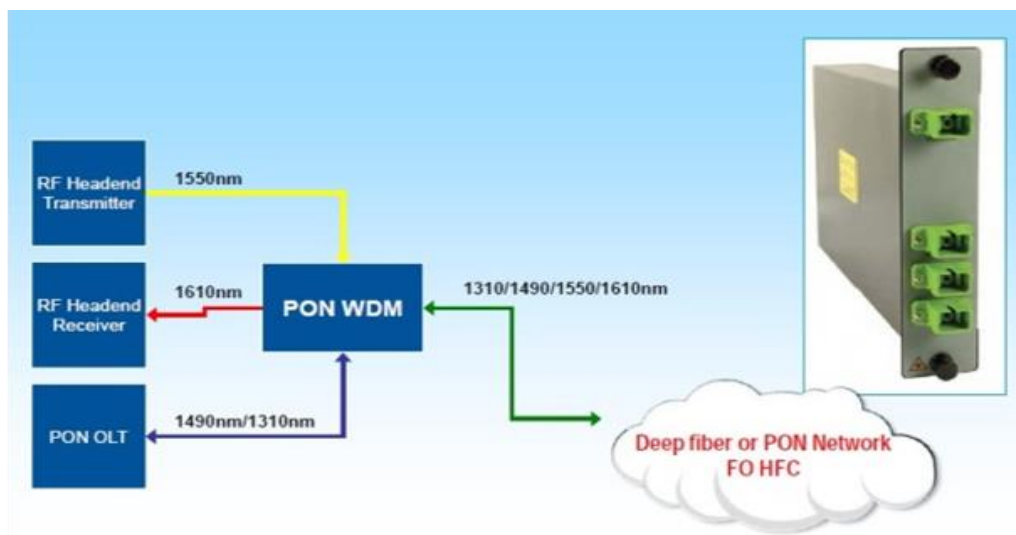
- прав канал (Downstream channel): $\lambda=1480-1500$ nm;
- обратен канал (Upstream channel): $\lambda=1260-1360$ nm;
- прав канал за видеосигнал (Video): $\lambda=1550-1560$ nm
- GEAPON прав канал 1575-1580 nm
- GEAPON обратен канал 1260-1280 nm
-



Фиг. 2. Разпределение на цифровите потоци по дължината на вълната

Това става с технологията, наречена PON WDM (Wavelength-division multiplexing), която комбинира множество оптични честоти през едно влакно и позволява канал с дължина на вълната 1550 nm, пренасящ RF видео сигнал да бъде мултиплексиран по PON влакно (Фиг. 3).

Съществуват и технологиите CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing) и DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) с OADM (Optical Add-Drop Multiplexer), плътно и грубо мултиплексиране по дължина на вълната, които не се дискутират тук.



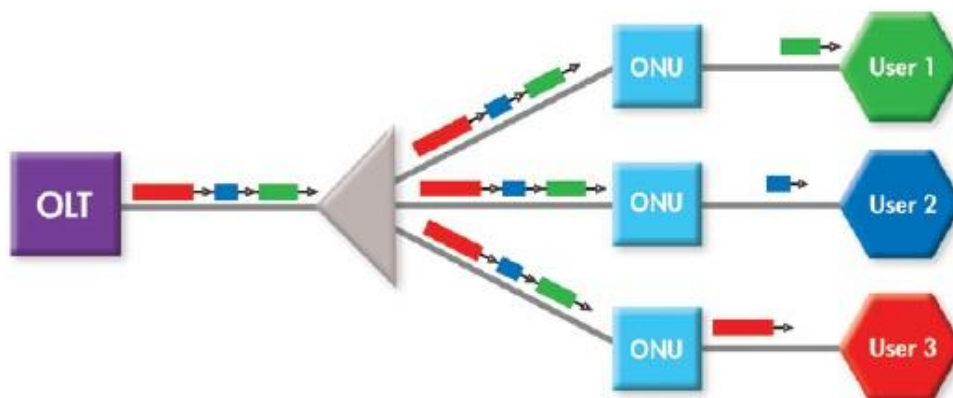
Фиг. 3. PON WDM технология

В. Оптична разпределителна мрежа ODN (Optical Distribution Network)

Тя осигурява връзката между OLT устройството и ONU – крайните устройства и наред с оптичния кабел, могат да съществуват голям брой от оптични сплитери или оптични отклонители, които разделят и разпределят сигнала до локациите на крайните абонати.

Г. – Главен терминал OLT

Ще използваме OLT с разделянето на едно влакно 1:64 с множествен достъп с разделяне по време (TDMA - time division multiple access). Този принцип е показан на Фиг. 4. Това означава, че всяко едно влакно може да обслужва до 64 абоната, а OLT има до 16 EPON порта за общо 1024 абоната; Средна излъчена мощност от PON порт е от +2 dBm до +7 dBm; Светлинна чувствителност при приемане на PON порт: не по-малко от -30 dBm



Фиг. 4. Действие на множествен достъп с разделяне по време (TDMA)



Фиг. 5 OLT с 8 порта и 16 порта

Необходимата скорост за един оптичен порт от OLT при условие, че за всеки абонат определената от доставчика скорост е 15 Mbps x 64 абоната = 960 Mbps или ≈ 1 Gbps, каквато OLT модула може да достави по данни от производителя.

Д. Крайни устройства ONU

Ще използваме ONU със следните типични характеристики: SC/PC интерфейс, Чувствителност на приемника – не по-малко от -26 dBm; излъчвана мощност: от +2 до +7 dBm



Фиг. 6 ONU с 1, 4 и 16 порта

Е. Оптични сплитери

В PON мрежите най-широко се използват сплитери, изпълнени по технологията PLC (Planar Lightwave Circuit), които имат компактни размери и са удобни за сбит монтаж. Предлагат се с голямо разнообразие на делене 1:N, N = 2, 4, 8, 16, 32, 64; с и без конектори; с и без обвивка.



а)

б)

в)

Фиг. 7. а) Оптичен конектор SC/PC; б) Оптичен PLC сплитер с SC/PC конектори; в) Оптичен PLC сплитер мини с SC/APC конектори

Ж. Брой абонати

Максималният брой абонати при мрежи от избрания тип EPON с 1 OLT може да бъде определен по следната формула:

IV. ЗАТИХВАНЕ В ОПТИЧНАТА РАЗПРЕДЕЛИТЕЛНА МРЕЖА ODN

А. Затихване на сигнала в оптичното влакно

При разпространение на сигнала в оптичното влакно възниква естествено затихване. Големината на това затихване зависи от много фактори, но при изчисленията обикновено се вземат предвид само два от тях - дължината на линията и дължината на вълната на сигнала. Средната загуба за сигнал в едномодово влакно е около 0,25 dB/km за дължина на вълната от 1550 nm, и 0,35 dB/km за 1310 nm. Както е известно, в PON мрежите се използват вълни с дължини между 1260nm и 1580 nm, но за изчисляване на затихването по линията за тези

дължини на вълните може ориентировъчно да се използват стойностите за вълни с дължини 1310 nm и 1550 nm.

Б. Затихване в оптичните елементи на мрежата и съединителните точки

- В конекторите –0,3 dB
- В точките на сплайсване –0,02 dB
- В механичните съединители – от 0,7 dB
- Запас –3 dB /добавя се, за да се отчете затихването на крайния свързващ кабел от последния сплитер до абоната, конекторите в тази връзка и други непредвидени съединения до крайното устройство, както и вътрешната мрежа в помещенията на абоната
- В оптичните сплитери
-

Сплитери	1x2	1x4	1x8	1x16	1x32	1x64
Затихване, dB	3.8	8	11.5	14.5	18	21

В. Общо затихване

Вариант 1: Дължина на трасето 500 m, сплитер на 32, при 5 конектора:

- *Downstream:*

$$Loss_d = - 0.125dB(\text{fiber}) - 1.5dB(\text{connectors}) - 18dB(\text{splitter}) - 3 dB(\text{margin}) = -22.6dB$$

- *Upstream:*

$$Loss_u = - 0.175dB(\text{fiber}) - 1.5dB(\text{connectors}) - 18dB(\text{splitter}) - 3dB(\text{margin}) = -22.7dB$$

Вариант 2: Дължина на трасето 1000 m, сплитер на 64, при 8 конектора, точки на сплайсване - 10:

- *Downstream:*

$$Loss_d = - 0.25dB(\text{fiber}) - 2.4dB(\text{connectors}) - 21dB(\text{splitter}) - 0.2dB(\text{splice}) - 3dB(\text{margin}) = -26.85dB$$

- *Upstream:*

$$Loss_u = - 0.35dB(\text{fiber}) - 2.4dB(\text{connectors}) - 21dB(\text{splitter}) - 0.2dB(\text{splice}) - 3dB(\text{margin}) = -27.85dB$$

Това означава, че Оптичната разпределителна мрежа ще трябва да осигури превишение на нивото на излъчване над нивото на приемани на сигнала в права посока за 1550 nm по-малко от 27 dB и в обратна посока за 1310 nm под 28dB.

V. ПРАКТИЧЕСКИ ПРИМЕР ЗА ПРОЕКТИРАНЕ НА ГРАД С 1000 АБОНАТА (ГР. РАДОМИР)

В ползваните ръководства за проектиране на PON мрежи и статиите на тази тема обикновено се разглеждат идеални структури с голяма плътност на абонатите, при които с едно влакно от един OLT порт се достига до оптичен сплитер с голямо число на делене за гъсто разположени абонати, разположени в малко пространство. Този подход е подходящ за мрежи с голяма концентрация на абонати или за монополни мрежи без конкуренция.

В наши условия обаче, това съвсем не е така. В големите градове у нас към момента се съревновават до 10 и повече конкурентни доставчици на телекомуникационни услуги, а в по-малките населени места има поне 3-ма конкурента.

Развитието на PON мрежите се ограничава от цената на оборудването и несигурността на инвестициите, както и от монополното притежание на подземната инфраструктура от един оператор, който с приходите от конкурентните фирми кросфинансира услугите си. Въпреки

горното, редица малки и средни оператори, предоставящи интернет услуги, преминават от класическите хибридни медно-оптични LAN мрежи към PON.

Тук се предлага оригинален метод за проектиране и описание на сложни многопозиционни, многоабонатни структури, наречен „Маршрутна карта за достъп до PON мрежа” (Приложение 1). В електронния вариант на картата, зад всеки абонат с хипервръзки стои информация за адрес и други индивидуализиращи данни. Срещу всеки абонат стои информация за връзката с последния оптичен сплитер и неговите параметри, местоположение и разстояния. Мястото на всеки сплитер се приравнява с каскадното деление на 2 и определя затихването в съответната точка, зад която също стои информация за местоположението и параметрите на сплитера и връзката.

По описания начин се проектира всеки OLT порт и връзките му с всяко ONU. Таблицата дава възможност за бързо определяне на количеството и вида сплитери и кабели, необходими за попълване на количествено стойностната документация.

Методът позволява планиране на нови абонатни точки и гъвкаво преконфигуриране на структурата в условията на динамично експлоатиране на PON мрежите.

Показаният пример е снет от реална ситуация в съществуваща мрежа на средно голям град като Радомир.

VI. ИЗВОДИ

По така предложената методика със съставянето на схема с максимално възможен брой деления наречена от авторите „Маршрутна карта за достъп до PON мрежа”, става възможно определянето на:

- броя и кратността на деление за всеки абонат
- реализираното затихване по маршрута до всеки абонат
- разстоянието по така изградената мрежа до всеки абонат

Всички тези възможности осигуряват освен актуалната информация за начина на достъп до мрежата на всеки абонат, също и възможността за оптимизиране и отразяване на бъдещи корекции.

Наличието на тези карти в електронен вид, базирани на своеобразен сървър, дава възможност на техническите екипи онлайн да определят на място както точния адрес на точката на разклонения, така също и топологията на схемата.

При бъдещи корекции нагледно и лесно се определят промените съгласно нововъзникналите нужди (промяна топология на трасе или промяна на крайния брой абонати във всеки клон), така че загубите да не надхвърлят границата на чувствителност на крайните устройства.

В крайна сметка, при използването на подобен начин на представяне лесно се определя както натовареността на всеки клон, така и неговия потенциал за в бъдеще.

Накратко, предложеният подход за отразяване и изобразяване топологията на връзките за всеки порт на активните устройства OLT, представлява една информационна система осигуряваща графични, енергийни и адресни данни за реализирането на схемата.

ЛИТЕРАТУРА

1. Comscope. Design Guide, Passive Optical LAN (POL), 2014.
2. Бойко Харлов. ШИРОКОЛЕНТОВИ КОМУНИКАЦИОННИ СИСТЕМИ ЗА КАБЕЛНА ТЕЛЕВИЗИЯ, София 2015 г.
3. Juan Salvador Asensi Pla - DESIGN OF PASSIVE OPTICAL NETWORK MASTER'S THESIS, Brno, 2011.
4. Настя Попова - Пасивни оптични мрежи - Дипломна работа, Колеж по пощи и телекомуникации, гр. София, 2013.
5. Николай Милованов, Мрежи за достъп от следващо поколение - Пасивни Оптични Мрежи (PON) НБУ, ТСММ305, 2010 г.

Приложение 1 *МАРШРУТНА КАРТА ЗА ДОСТЪП ДО PON МРЕЖА*

№ абонат	Абонатно Разстояние м	Елемент 1:64	Разстояние м	Елемент 1:32	Елемент 1:16	Елемент 1:8	Елемент 1:4	Елемент 1:2	Отстояние до първи елемент м	№ OLT port					
-dB		-21		-18	-14.5	-11.5	-8	-3.8 dB							
1	←30	1/2	75	1/4	300m										
2	←25														
3	←5	1/2	55												
4	←12														
5	←22	1/2	60												
6	←25														
7	←30	1/2	80												
8	←35														
9	←40	1/4	120 m	1/4	600m										
10	←40														
11	←45	1/4	160 m							1/2	100m				
12	←45														
13	←50	1/4	190 m							1/8					
14	←25														
15	←30	1/8	220 m												
16	←35														
17	←20	1/8	220 m	1/2	250m										
18	←25														
19	←50	1/8	220 m												
20	←45														
21	←33	1/8	220 m												
22	←32														
23	←28	1/8	220 m												
24	←20														
25	←25	1/8	220 m												
26	←														
27	←	1/8	220 m												
28	←														
29	←	1/8	220 m												
30	←														
31	←	1/8	220 m												
32	←														
62															
63															
64															