

## **ТОПОЛОГИЯ И ЕНЕРГЕТИЧЕН БАЛАНС НА ПРОЕКТИРАНА ОПТИЧНА МРЕЖА**

**Божидар Розев, Емилия Димитрова**  
[edimitrova@bitex.bg](mailto:edimitrova@bitex.bg)

**Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”  
гр. София, ул. „Гео Милев” 158  
РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ**

**Ключови думи:** *Топология, проектиране на оптична мрежа*

**Резюме:** *Важен въпрос при проектирането на мрежа за абонатен достъп е изборът на топология на мрежата. Технологиата PON позволява прилагането на множество технологични архитектури: точка – точка, звездообразна, дървовидна, рингова. След избора на апаратура, оптични кабели и топология се преминава към изграждането на мрежата за абонатен достъп. Крайните устройства на оптичната линия трябва да бъдат разположени в централен офис, където да има много добре изградена инфраструктура, реализирана чрез специално направени кабел-канални и скари, в които се инсталира станционният оптичен кабел.*

*Изчисляването на параметрите на отделните оптични компоненти определя в крайния етап нивото на сигналите в приемниците. Зависимостта на мощността на оптичния сигнал по дължината на канала се определя от избраната топология. Основна загуба на мощност в каналите се внася от затихването във влакното, което зависи от дължината на вълната. Тази зависимост задава наклона в графичното представяне на мощността. Отслабване на сигнала се дължи и на загубите, внесени от конекторите и заварките на оптичните влакна и най-вече – от оптичните сплитери. Целта на доклада е да се изгради среда, която ще позволи изследването и проектирането на мрежа за абонатен достъп с топология от тип „звезда”. Основни предимства на тази топология са големият обхват на разпръскване на абонати и максимално използване на свободните портове.*

### **ИЗБОР НА ТОПОЛОГИЯ НА МРЕЖАТА ЗА АБОНАТЕН ДОСТЪП**

От гледна точка географското разположение на сградите в района, реализирането на мрежата за абонатен достъп и съществуващата канална и колекторна мрежа най-подходяща е топология тип „звезда“. Основни предимства на тази топология са:

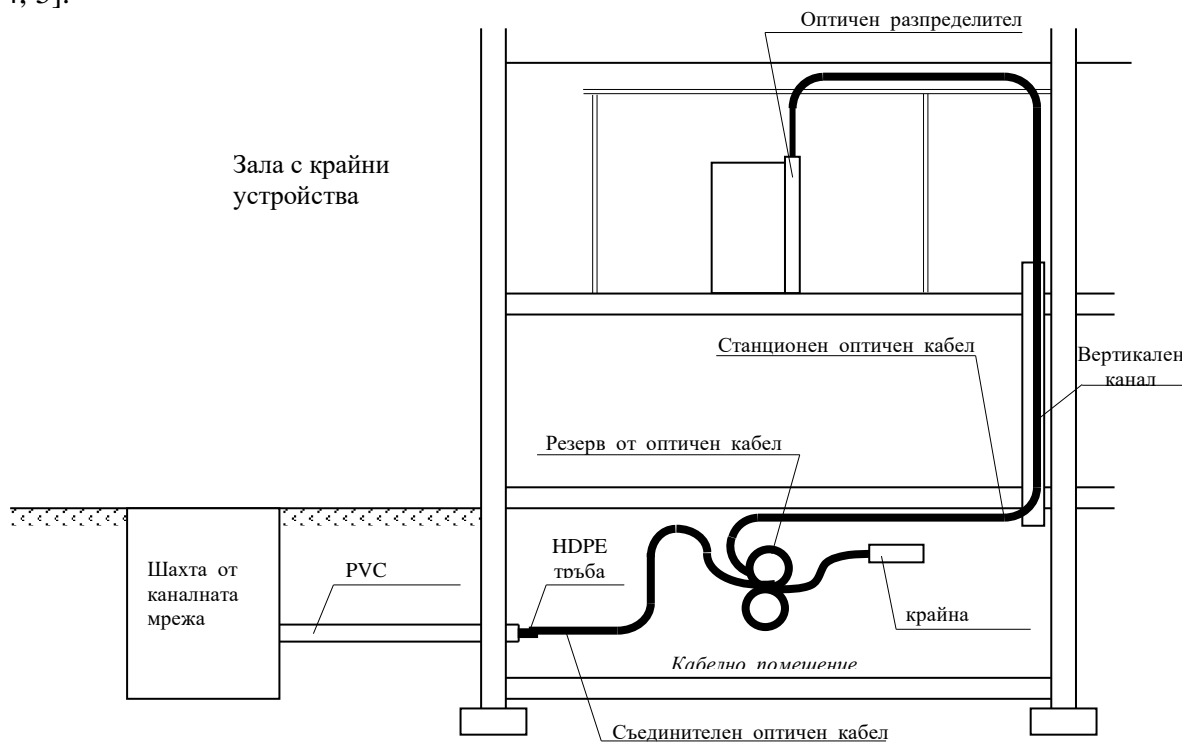
- големият обхват на разпръскване на абонати;
- максимално използване на свободните портове;
- масово и лесно включване на абонати при бързо разрастване на мрежата.

След като вече е избрана апаратура, оптични кабели и топология се преминава към изграждането на мрежата за абонатен достъп. Крайното устройство на оптичната линия на фирма Alcatel-Lucent 7342 P-OLT ще бъде разположено в централния офис,

който се намира в сградата на 74<sup>-та</sup> аналогова телефонна централа (АТЦ-74) на БТК - Vivacom. Този избор се основава на факта, че въпросната сграда има връзка с два международни доставчика на интернет - БТК и Нетера, което осигурява резервираност на услугата. АТЦ-74 се намира на добро стратегическо място за бъдещо развитие на мрежата в съседни квартали, тъй като е свързана с магистрални канални трасета към други райони на София. Това ще даде възможност за бързо и лесно разрастване на мрежата. В самата сграда има много добре изградена инфраструктура, реализирана чрез специално направени кабел-канални и скари, в които се инсталира стационарният оптичен кабел. 7342 P-OLT устройството на Alcatel-Lucent заедно с оптичните разпределителни устройства, известни като ODF-разпределители, ще бъдат монтирани в монтажна стойка 19" (racks), с което се постига:

- голяма гъвкавост при свързване на оптичните линии към 7342 P-OLT устройството;
- лесно преконфигуриране на връзките, много лесен и стандартизиран монтаж;
- ремонтпригодност при използване на разнотипно телекомуникационно оборудване.

Връзката между 7342 P-OLT и ODF-разпределителя се осъществява чрез оптични съединителни шнурове (пачкорди), с дължина от по 2 m. От ODF-разпределителя започва началото на стационарния кабел с дължина 50 m и капацитет 96 влакна. Този оптичен кабел се свързва с кабела за външно полагане със същия капацитет чрез крайна оптична муфа, която се намира в т.н. кабелно помещение (бутилково) на подземно помещение на АТЦ-74 [1]. Тъй като първоначално ще се захванват 10% от домакинствата, няма да се развива целият оптичен кабел на ODF-разпределителя, а само 12 броя оптични влакна. В разглеждания случай ще се използва този тип тръба с външен диаметър Ø32 mm. Оптичният кабел за външно полагане, заедно със стационарния оптичен кабел ще осъществяват връзката между 7342 P-OLT устройството и оптичните сплитери FOV064-PLC от тип 1x64, разположени в телекомуникационен влагоустойчив разпределителен шкаф на фирма Alcatel-Lucent, поставен върху специална бетоново-арматурна основа [3, 4, 5].



Фиг. 1. Инсталиране на стационарен кабел в сграда

В лявата страна на шкафа се разполагат оптичните сплитери, а в дясната, която изпълнява функция на оптичен репартитор, се намират ODF-разпределителите, като връзката между тях се осъществява с пачкорди. Дължината им трябва да бъде не по-малко от 5 m. Разположението трябва да съобрази със съществуващата канална мрежа и колектор, разположението на сградите в квартала, бъдещето строене на нови сгради и номенклатурата за изграждане на телекомуникационни съоръжения. За целта районът се разделя на седем части, като във всяка от тях се поставя по един разпределителен шкаф със съответното оборудване за 10% от домакинствата (Табл. 1) [5].

**Табл. 1. Разпределение на жилищни блокове и бизнес сгради**

Телекомуникационно съоръжение	Жилищни блокове	Бизнес сгради	10% от домакинствата	Общ брой домакинства
Разпределителен шкаф №1	501, 502, 503, 504, 505, 506	City point	51	509
Разпределителен шкаф №2	505A, 506A, 516, 517, 518, 519	бизнес сграда	23	227
Разпределителен шкаф №3	529, 530, 531, 532, 535, 537		23	227
Разпределителен шкаф №4	514, 520, 521		31	310
Разпределителен шкаф №5	513, 522, 523, 528		43	426
Разпределителен шкаф №6	512, 524, 525, 526, 527, 555, 557		65	650
Разпределителен шкаф №7	507, 508, 509, 510, 511, 549, 550, 551, 551A, 552	Телерик	70	695

Разпределителните шкафове имат различен капацитет, което предполага и различен брой запазващи оптични влакна (табл. 2). Тъй като всяко едно оптично влакно запазва отделен оптичен сплитер, от табл. 2 става ясен и първоначалният брой на оптичните сплитери, необходими за реализирането на тройна услуга за 10% от домакинствата.

Всички входящи и изходящи кабели се маркират с жълти обозначителни табелки, които съдържат следната информация [2]: XXXXXXXXXXXX – опознавателен номер; АААААА - начален пункт; ББББББББ - краен пункт; YYYU – година на инсталиране.

С изходящ оптичен кабел се запазва всеки вход на жилищен блок или бизнес сграда. Определянето на капацитета на изходящите кабели става по следния начин:

- до всеки вход на жилищен блок или бизнес сграда се изтегля оптичен кабел с брой на оптичните влакна, съответен на броя домакинствата;
- при малки разстояния се полага директен оптичен кабел (не се разклонява в оптична муфа), по този начин в линията не се вкарва допълнително затихване;

**Табл. 2 Разпределение на оптичните влакна по шкафове**

Телекомуникационни съоръжения	Брой влакна за 10% от домакинствата	Брой влакна за всички домакинства	Оптични влакна в резерв
Разпределителен шкаф №1	1	9	4
Разпределителен шкаф №2	1	4	9
Разпределителен шкаф №3	1	4	9
Разпределителен шкаф №4	1	5	5
Разпределителен шкаф №5	1	7	5
Разпределителен шкаф №6	2	11	7
Разпределителен шкаф №7	2	12	4

- при големи разстояния се инсталира оптичен кабел до сградата с възможно най – голям капацитет, а там чрез оптична муфа се разклонява до всеки вход. Това води до внасяне на допълнително затихване в линията, но се спестява оптичен кабел.

Изходящият оптичен кабел от разпределителния шкаф, достигайки до определен вход на жилищен блок или бизнес сграда се раздробява в оптично крайно разпределително устройство (КРУ). Във всяко КРУ има вграден 24 портов ODF-разпределител, който е разположен вертикално в средата на оптичното КРУ. От двете му страни има по две сплайс касети с общ капацитет 48 заварки. От КРУ до оптичната розетка, която се намира при абоната, в близост до ONT устройството, се инсталира оптичен стационарен кабел с едно оптично влакно CORNING. То се заварява за пигтейла с конектор от тип SC/APC на оптичната розетка. Връзката от розетката до ONT устройството се реализира с пачкорда с конектори от тип SC/APC [1].

## ОРАЗМЕРЯВАНЕ НА МРЕЖАТА ЗА АБОНАТЕН ДОСТЪП ПО ЗАТИХВАНЕ НА ОПТИЧНО ВЛАКНО

Изчисляването на параметрите на отделните оптични компоненти определя в крайния етап нивото на сигналите в приемниците. На фиг. 2 е показана зависимостта на нивото на мощността на оптичния сигнал по дължината на един от каналите OLT → ONT, на мрежа с топология звезда. Основна загуба на мощност в канала се внася от затихването във влакното, което зависи от дължината на вълната (0,35 dB/km на дължина на вълната 1310nm и 0,24 dB/km на дължина на вълната 1490 nm). Тази зависимост задава наклона в графичното представяне на мощността. Други източници на отслабване на сигнала се явяват загубите, внесени оптичните съединители, конекторите и заварките на оптичните влакна (0,4 dB за съединителите, 0,4 dB за конектор и 0,05 dB за заварка). Значителният източник на отслабване на сигнала в PON мрежа се явяват загубите, внесени от оптичните сплитери (0,4 dB). В разглеждания случай има сплитер от тип 1x64 и неговия сигнал на всеки изходен порт ще бъде по-слаб от сигнала на входния, като внесените загуби от него са 20,1 dB. За неголеми мрежи може да се прибегне до отслабване на сигнала. Това може да се осъществи по два начина:

- чрез помощта на устройството атенюатор;
- чрез внасяне на допълнително затихване в оптичната заварка, когато се съединяват влакната със сплайсер.

За всеки канал за връзка OLT → ONT може да се изчисли внесеното затихване  $A$  [dB]. За целта е разгледано само очакваните стойности на внесеното затихване  $A$  [dB] на оптичната линия от централния офис до най-близкия (OLT → блок 505А/апартамент 1) и най-далечния потребител (OLT → блок 512/апартамент 27 или апартамент 108). Тези стойности се получават по формулата:

$$(1) \quad A = L \cdot \alpha + n \cdot a_z + N \cdot a_c + a_{\text{сплитер}} + a_{\text{запас}}, \text{ dB}, \text{ където}$$

$\alpha$  [dB/km] - коефициент на оптично затихване

$L$  [km] - дължината на оптичната линия

$n$  - броят на заварките

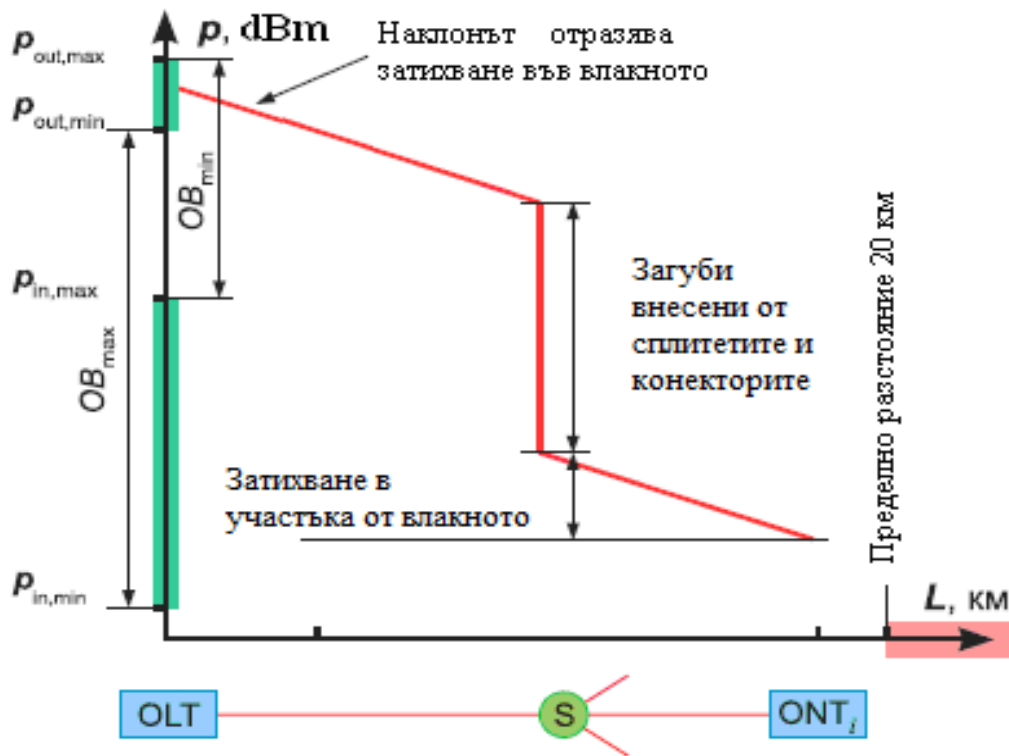
$a_z$  - внесеното затихване от заварка

$N$  – брой на оптичните съединители

$a_c$  - внесеното затихване от оптичен съединител

$a_{\text{сплитер}}$  - внесеното от оптичния сплитер затихване

$a_{\text{запас}}$  - технологичен резерв, отчитащ процесите на стареене на оптичните влакна, заварки, съединители, температурни промени и евентуално отстраняване на аварии чрез внасяне на допълнителни заварки.



Фиг. 2 Графика с внесено затихване от различните компоненти

Съществуват три метода за пресмятане:

- метод на най-лошия случай, при който се взимат максималните стойности за  $\alpha$ ,  $a_3$ ,  $a_c$ ,  $a_{сплитер}$ ,  $a_{запас}$
- метод на средно статистическите (типични) стойности, при който се вземат в предвид средно статистическите стойности на  $\alpha$ ,  $a_3$ ,  $a_c$ ,  $a_{сплитер}$ ,  $a_{запас}$
- комбиниран метод

В доклада е използван първият метод, тъй като разстоянието, на което се предава сигналът е малко и това предполага пресмятания по метода на най-лошия случай [3][4].

За определянето броя на заварките и съединителите е съобразено тяхното количество по линията (Табл. 3).

Внесеното затихване от параметрите на всички оптични компоненти в посока от ONT  $\rightarrow$  OLT за най-близкия и най-далечния потребител е:

$$A_{505A(d)} = L * \alpha + n * a_3 + N * a_c + a_{сплитер} + a_{запас} = 2,091 * 0,35 + 8 * 0,05 + 7 * 0,4 + 20,1 + 2 = 26,0315dB$$

$$A_{512(d)} = L * \alpha + n * a_3 + N * a_c + a_{сплитер} + a_{запас} = 3,604 * 0,35 + 9 * 0,05 + 7 * 0,4 + 20,1 + 2 = 26,6114dB$$

Внесеното затихване от параметрите на всички оптични компоненти в посока от OLT  $\rightarrow$  ONT за най-близкия и най-далечен потребител е:

$$A_{505A(u)} = L * \alpha + n * a_3 + N * a_c + a_{сплитер} + a_{запас} = 2,091 * 0,24 + 8 * 0,05 + 7 * 0,4 + 20,1 + 2 = 25,8018dB$$

$$A_{512(u)} = L * \alpha + n * a_3 + N * a_c + a_{сплитер} + a_{запас} = 3,604 * 0,24 + 9 * 0,05 + 7 * 0,4 + 20,1 + 2 = 26,2142dB$$

Табл. 3. Брой заварки и конектори

Технологична сграда	Брой заварки	Брой съединители
Централен офис	2	2
Разпределителен шкаф	2	2
Жилищен блок	3	3

За да се определи динамичния диапазон, се използват данните от спецификациите на OLT устройството:

- максимална мощност на предаване:  $p_{out,max} = 5dBm$ ;
- минимална мощност на предаване:  $p_{out,min} = 0,5dBm$  ;
- праг на натоварването:  $p_{in,max} = -8dBm$  ;
- минимална чувствителност:  $p_{in,min} = -27,5dBm$  ;

и ONT устройството:

- максимална мощност на предаване:  $p_{out,max} = 5dBm$  ;
- минимална мощност на предаване:  $p_{out,min} = 0,5dBm$  ;
- праг на натоварването:  $p_{in,max} = -8dBm$  ;
- минимална чувствителност:  $p_{in,min} = -27,5dBm$  ;

Тъй като данните от спецификациите на двете устройства OLT и ONT са еднакви, ще се получат еднакви резултати за  $OB_{max}$  (максимално допустимо отслабване на сигнала) и  $OB_{min}$  (минимално допустимо отслабване на сигнала) в двете посоки на предаване.

В приемния детектор, освен минимална чувствителност  $p_{in,min}$ , съществува и горна граница на работния режим  $p_{in,max}$ , която се нарича праг на натоварването. При по-мощен сигнал детекторът вече не може да приема сигнали с допустимото за работния режим ниво на грешка  $BER=10^{-10}$ , тъй като влиза в режим на насищане. Отчитайки измененията на средното ниво на мощността, излъчена от лазер,  $p_{out,max}$  и  $p_{out,min}$ , се правят следните изводи:

- Максималното допустимо отслабване на сигнала не трябва да превишава  

$$OB_{max} = p_{out,min} - p_{in,min} = 0,5 - (-27,5) = 28dB$$
- Минималното допустимото отслабване на сигнала не трябва да бъде по-малко от  

$$OB_{min} = p_{out,max} - p_{in,max} = 5 - (-8) = 13dB$$

От получените резултати за внесеното затихване в оптичната линия, максималното допустимо отслабване на сигнала и минималното допустимо отслабване на сигнала може да се заключи, че оптичната мрежа ще работи безотказно, тъй като е изпълнено неравенството:  $OB_{min} \leq A \leq OB_{max}$ .

Изчисленията на енергийния баланс дават загубите в силата на сигнала по пътя му между OLT устройството и ONT устройство. Енергийният баланс обикновено се прави в двете посоки – downstream (d) и upstream (u). Най-общо, енергийният баланс се изчислява като от минималната изходна мощност се извадят внесените загуби в оптичната линия:

$$(2) \quad P_{received} (dBm) = P_{out,min} (dBm) + A(dB)$$

Енергиен баланс на най – близкия потребител в двете посоки:

$$P_{received,505A,(d)} = P_{out,min,(OLT)} (dBm) - A_{505A} (dB) = 0,5 - 26,0315 = -25,5315dB$$

$$P_{received,505A,(u)} = P_{out,min,(ONT)} (dBm) - A_{505A(u)} (dB) = 0,5 - 25,8018 = -25,3018dB$$

Енергиен баланс на най – далечния потребител в двете посоки:

$$P_{received,512,(d)} = P_{out,min,(OLT)} (dBm) - A_{512} (dB) = 0,5 - 26,6114 = -26,1114dB$$

$$P_{received,512,(u)} = P_{out,min,(ONT)} (dBm) - A_{512(u)} (dB) = 0,5 - 26,7142 = -25,7142dB$$

Тъй като стойностите на  $P_{receive}$  за най-близкия и най-далечния абонат в двете посоки са по-големи от чувствителността на OLT и ONT устройствата  $p_{in,min} = -27,5dBm$  системата ще работи правилно.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Съществуват различни стандарти за изграждане на абонатни мрежи за достъп на базата на оптични системи. Изборът на определена топология зависи от инфраструктурата на населеното място, желаните скорости, цената на преносната среда и мрежовите компоненти и не на последно място - от стойността за изграждане на мрежата. Такъв вид мрежа има високи първоначални разходи при изграждането, но възвръща капиталовложенията благодарение на своята енергоспестяемост, предоставянето на голям пакет от услуги и доста по-ниските разходи за поддръжка. По-бърза възвръщаемост се получава, когато мрежата за абонатен достъп се реализира в гъсто населени райони.

## **ЛИТЕРАТУРА:**

- [1] Ch. Lin. Broadband – Optical Access Networks and Fiber-to-the-home. England: John Wiley & Sons Ltd.; 2006.
- [2] G. Keiser. FTTX - Concepts and applications. NJ-USA: John Wiley & Sons Ltd.; 2006.
- [3] Проектиране и изграждане на оптична кабелна линия жк. Младост 1, Виваком; 2014
- [4] Инструкция за изграждане на оптична линия, 2015
- [5] Инструкции за строителство на оптична линия, 2017

## **TOPOLOGY AND ENERGY BALANCE OF DESIGNED OPTICAL NETWORK**

**Bozhidar Rozev, Emiliya Dimitrova**

*Todor Kableshkov University of Transport  
Sofia, 158 Geo Milev Str.  
THE REPUBLIC OF BULGARIA*

**Keywords:** *Topology, Optical network design*

**Abstract:** *An important issue when designing a subscriber access network is the choice of network topology. PON technology allows the application of many technological architectures: point - point, star, tree, ring. After already selected equipment, optical cables and topology, the construction of the subscriber access network is started. The terminal devices of the optical line must be located in a central office. The building must have a very well-developed infrastructure, realized through specially made cable channels and grills, in which the station optical cable to be installed. In the final stage, the calculation of the parameters of the optical components determines the level of the signals in the receivers. The dependence of the power level of the optical signal along the length of the channel is determined by a selected topology. The main power loss in the channels is introduced by the attenuation in the fiber, which depends on the wavelength. This dependence sets the slope in the graphical representation of the power. Attenuation of the signal can also be caused by losses in fiber optic connectors and welds and in optical splitters. The aim of this paper is to build a transmission medium that will allow research and design a network for subscriber access with a topology of type "star". The main advantages of this topology are the large range of subscribers and maximum use of free ports.*