

# Анализ пассивных компонентов PON

О. Г. Евдокимова<sup>1</sup>, И. А. Уснич<sup>2</sup>

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I  
<sup>1</sup>evdokimovaog\_kf@mail.ru, <sup>2</sup>irochka5445@mail.ru

**Аннотация.** В данной статье выполнен обзор современного состояния и развития пассивных оптических сетей абонентского доступа PON (Passive Optical Network). Рассмотрены принцип действия технологии пассивных оптических сетей, а также их преимущества и недостатки. Основное внимание уделено исследованиям в области оптимизации пассивных компонентов.

**Ключевые слова:** пассивные сети, оптические сети, оптимизация, ПОН, принцип действия

## I. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время технологии широкополосного доступа (ШПД) представляются одним из самых быстроразвивающихся телекоммуникационных направлений.

Большинство отечественных операторов связи создают новые сети на основе волоконно-оптических линий, решая задачи по предоставлению услуг связи, отвечающих современным требованиям, таким как:

- доступ в интернет до 1 Гбит/с;
- IP-телевидение, услуги телефонной связи;
- услуги виртуальных частных сетей (Virtual Private Network, VPN);
- новые цифровые сервисы, предоставляющие с помощью СПД;
- концепции «тройной услуги» (Triple Play).

Среди существующих технологий доступа можно выделить беспроводные и проводные: xDSL (digital subscriber line), FTTx (fiber to the x), PON (Passive optical network). Проблема нехватки радиочастотного спектра ограничивает применение и развитие беспроводных технологий ШПД. Перед сетями, организованными на базе металлических кабелей, волоконно-оптические обладают существенными преимуществами: широкая полоса пропускания, низкое затухание сигнала, высокая надёжность, гибкое построение сети, гальваническая развязка, низкий уровень шумов.

Следует отметить, что специалисты [1, 2, 3], в том числе железнодорожного сектора связи, перспективными считают широкополосные сети доступа, основанные на технологиях, исключающих наличие активного оборудования между оператором и абонентом. Наибольший интерес с этой позиции представляют пассивные оптические сети (PON), общая структура и компоненты которой представлены на рис. 1. Распределительная сеть доступа PON базируется на древовидной волоконно-кабельной архитектуре с пассивными устройствами-оптическими разветвителями (сплиттерами) на узлах.



Рис. 1. Структурная схема PON

Разработчиками и предприятиями железнодорожной отрасли, в частности АО «НИИАС», ООО КБ «ПУЛЬСАР-ТЕЛЕКОМ» ООО «Новел ИЛ» и ООО «Сфера Телеком», для организации доступа объектов на перегоне начато применение систем пассивного доступа по технологиям GPON (Gigabit Passive Optical Network) с применением сплиттеров [4].

Выполним аналитический обзор пассивных элементов сети PON с целью повышения эффективности их применения при проектировании и организации сетей ШПД, в том числе на железнодорожном транспорте.

## II. КОМПОНЕНТЫ ПАССИВНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ СЕТИ

Принцип построения технологии PON (рис 1) основывается на том, что в центральном узле имеется оптический линейный терминал (OLT – Optical Line Terminal) с подключенным оптическим кабелем для приема и передачи информации ко множеству абонентских устройств (ONT – Optical Network Terminal) используется только одно приемопередающее устройство. Количество подключаемых абонентов ONT определяется бюджетом мощности, т. е. энергетическим потенциалом системы передачи и максимальной скоростью приёмопередающей аппаратуры.

Основными элементами пассивной части сети PON являются:

- волоконно-оптические кабели;
- коннекторы – устройства, обеспечивающие быстрое механическое соединение оптических волокон для прохода оптического сигнала из одного в другое.

Сплиттеры – наиболее главный элемент PON, представляющий собой многополюсник с заданным количеством входных и выходных портов. Он, пропуская сигнал в направлении сетевых терминалов, распределяет выходную мощность между компонентными портами в определённых пропорциях. При этом суммарная мощность сигналов на выходе всех компонентных портов меньше, чем значение на входе агрегатного порта, из-за потерь вносимым самим сплиттером.

Такие устройства как сплиттеры в сети PON позволяют создавать протяженные сети с разнообразной сложной топологией, обеспечивающей возможность увеличения числа абонентов.

Рассмотрим ряд особенностей, влияющих на выбор типа сплиттеров, таких как: вид сплиттера, форма делителя, технология производства, тип разъема, тип полировки.

На сегодняшний день существуют сплиттеры следующих условных видов:

- с Т-транзитным портом (рис. 2а);
- без Т-транзитного порта (рис. 2б).

Отличие данных типов сплиттеров заключается в наличии или отсутствии Т-транзитного порта. Данный порт предназначен для распределения в него основной части выходной мощности, что позволяет производить наращивание сети более сложной архитектуры.

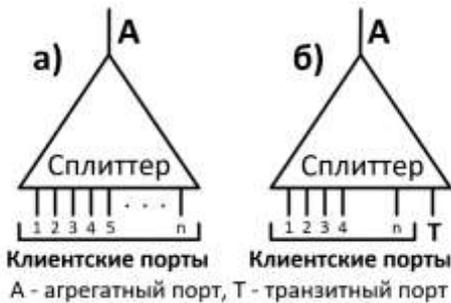


Рис. 2. Виды сплиттеров

#### А. Форма делителя

При проектировании оптической сети ее элементы выбираются согласно расчету бюджета мощности линии. Значительная часть потерь происходит на сплиттере и зависит от его коэффициента деления. Согласно стандарту G.983 для сетей GPON при равномерном делении мощности между выходами, выходная мощность уменьшается соответственно количеству выходов, наибольшее значение которых составляет 32. В стандарте G.984 для технологии GPON предусмотрено максимальное поддерживаемое значение – деление на 64. Специалисты предвидят увеличение выходов для сплиттеров до 128 и более.

По форме делителя сплиттеры можно проклассифицировать на:

- X-образные – сплиттеры имеющие несколько входов и несколько выходов. самым простейшим представителем этого типа является сплиттер имеющий 2 входа и 2 выхода (рис. 3а), данный делитель используется очень редко и только в качестве вспомогательных компонентов в сетях со сложной разветвленной архитектурой;

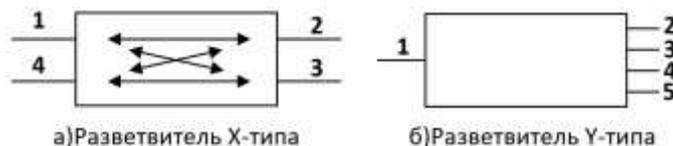


Рис. 3. Типы разветвителей (а – разветвитель X-типа, б – разветвитель Y-типа)

- Y-образные – сплиттеры имеющие только один вход и несколько выходов, т.е. оптический разветвитель типа 1:N, где N-где число выходов (рис. 3б).

Следует отметить, что Y-образные разветвители в свою очередь подразделяются на два вида:

- симметричные – оптические делители, которые производят распределение оптической мощности между всеми выходами в равномерно;
- несимметричные – деление оптической мощности производится не равномерно.

При необходимости деления сигнала на две части применяют преимущественно деление 50 % :50 %.

Отметим, что симметричные делители могут быть выполнены по любой технологии, несимметричные же делители выполняются только сварным способом.

Несимметричные сплиттеры применяются преимущественно в сетях с линейной топологией, когда требуется ответвить долю сигнала.

#### В. Технология производства

Затухание (потеря мощности сигнала) на сплиттерах является еще одним из показателей при построении PON, который определяется в основном технологией изготовления. В настоящее наиболее распространены только две технологии изготовления сплиттеров:

FBT (Fused Biconical Taper) – по данной технологии изготавливают так называемые сплавные (сварные) или биконические делители. Производство таких делителей основывается на следующей технологии – два волокна освобождают от внешних оболочек (лака и пластикового буфера), затем их сплавляют в один четырёхполосник, имеющий два входа и два выхода. Сплавление осуществляется боковыми поверхностями при вытягивании и нагреве, с постоянной подачей оптической мощности на вход будущего разветвителя и контролем оптических мощностей в выходных плечах изготавливаемого разветвителя. При достижении необходимого деления мощности между выходными плечами разветвителя процесс останавливается. Если необходимо создать делитель 1:2, то один из входов заглушают безотражательным методом. Работа такого делителя основывается на совмещении оптических волноводов перед их сплавлением так, чтобы нужная доля входного потока передавалась через боковые поверхности (рис. 4) и зависит от взаимопроникновения сердцевин свариваемых волокон. Возможность несимметричного разделения оптической мощности является основным преимуществом FBT делителей, что актуально при необходимости выполнения разветвлений до абонентских устройств, находящихся на разном расстоянии от точки деления.

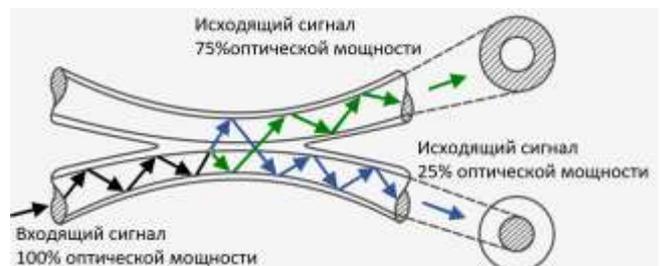


Рис. 4. Принцип работы делителя сплавного типа (FBT)

К очевидным достоинствам сплавных делителей можно отнести распространение сигнала по одной среде, что способствует снижению вносимых потерь.

- PLC (Planar Lightwave Circuit) – по данной технологии изготавливают так называемые планарные сплиттеры. Изготовление данных

разветвителей производится по более сложной технологии (рис. 5), заключающейся в том, что на полупроводниковой пластине происходит формирование множества микроделителей типа 1:2, объединенных в сплиттер с нужным коэффициентом деления. Такой процесс изготовления позволяет получить не только более широкий температурный диапазон использования, но и создавать более компактные и надежные сплиттеры с числом выходных волокон до 32.

Необходимо отметить, что при выборе сплавного сплиттера следует учитывать, его рабочий диапазон (1550нм, 1490нм, 1310нм) и различные для этих волн коэффициенты деления, в то время как планарные сплиттеры имеют более широкий диапазон рабочих длин волн (1260нм ~ 1650нм) с почти одинаковым коэффициентом деления.

Таким образом, к ключевому различию между сплиттерами, изготовленными по технологии FBT и PLC, следует отнести зависимость вносимого затухания от длины волны у сплавных сплиттеров. Причем с увеличением выходов FBT сплиттера данное негативное проявление все значительнее [5]. Отметим, что при построении PON требуется обеспечить одинаковый коэффициент деления для всего рабочего диапазона (1550нм, 1490нм, 1310нм).

При построении сети с применением сплиттеров рекомендуется учитывать температурно-зависимое затухание (Temperature Dependent Loss – TDL), поляризационно-зависимое затухание (Polarisation Dependent Loss – PDL) и надежность [5].

При рабочих температурах от -50С до +75 0С для сплавных делителей, например, типа 1:2 допустимое TDL составляет около 0,15дБ. Учитывая каскадную архитектуру сети, для сплиттеров этой технологии при разделении на 8 частей значение температурно-зависимого затухания составит 0,45дБ. Планарные сплиттеры предназначены для работы при температурах от -400С до +850С с допустимым значением TDL 0,25дБ.

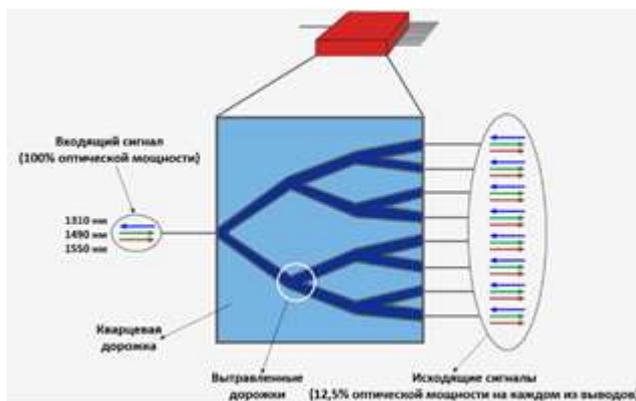


Рис. 5. Процесс изготовления планарных сплиттеров

Значения поляризационно-зависимого затухания у сплиттеров PLC вне зависимости от коэффициента деления составляет порядка 0,2 дБ [6, 7, 8]. Сплавной делитель, например, типа 1:2 [9], имеет аналогичное значение параметра PLC. Однако каскадное построение сети увеличивает PLD сплиттеров. Например, для FBT разветвителя на 8 частей значение PLC составит порядка 0,6дБ.

### С. Типы оформления концов сплиттеров

Для сплиттеров, изготовленных как по технологии FBT, так и по технологии PLC, существует следующие типы оформления концов:

- неоконечные;
- окончные коннекторами с разъемом SC/APC;
- окончные коннекторами с разъемом SC/UPC.

Неоконечные сплиттеры – разветвители на концах которых отсутствует наконечник. Такие разветвители применяются только для сварных затуханий, что позволяет избежать выскакивание коннекторов из гнезда, а также снизить затухание сигнала.

Сплиттеры с окончными коннекторами – используют при механических соединениях магистральных линий. Преимущество данных разветвителей – возможность поиска неисправности за счёт последовательного разъединения коннекторов и наблюдения наличия излучения, но также данные сплиттеры обладают недостатком, таки как большое затухание сигнала.

Коннектор APC – коннектор, торец светодиода которого полируется под углом 8 градусов, такая полировка позволяет практически всему отраженному сигналу выходить за границы светодиода. Такой коннектор обычно маркируется зеленым цветом.

Коннектор UPC – коннектор с простой шлифовкой под углом 90 градусов, при этом используется специальная технология высокоточной обработки поверхности. Применяется в высокоскоростных оптических сетях в связи с большой отражательной способностью. Такой коннектор обычно маркируется синим цветом.

### III. Выводы и дальнейшие перспективы

В заключении отметим, что благодаря использованию пассивных оптических делителей технология PON обладает целым рядом достоинств таких как:

- экономия волокна (сплиттеры позволяют делить одно волокно на несколько, при этом пропускная способность всех пользователей одинакова, к одному волокну возможно подключить до 128 абонентов);
- масштабируемость (легкость подключения большого числа новых абонентов);
- удобство обслуживания;
- увеличенная протяженность линии (до 60 км);
- высокая и стабильная скорость передачи;
- надежность сети и неприхотливость к условиям эксплуатации (за счет отсутствия активных элементов);
- возможность предоставления 3 видов информации (голос, видео, данных).

Однако применение сплиттеров при построении сетей сопровождается сложностью в поиске и устранении неисправностей, которые связаны с тем, что сплиттеры не способны передавать информацию о неисправностях.

Проведенный аналитический обзор пассивных компонентов PON и перспективы миграции от технологии GPON к 10G-PON (xG-PON G.987) при построении сетей ШПД позволяют рекомендовать применение сплиттеров, обеспечивающих симметричное деление мощности на длинах волн 1270нм и 1577нм, т. е. планарных, у которых коэффициент деления совсем не значительно зависит от диапазона рабочих длин волн. Но более сложная технология производства PLC-сплиттеров приводит к значительному увеличению их стоимости.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Громов А.Н., Фадеев К.С., Шахов В.Г. Развитие сетей широкополосного доступа на базе оптических сетей // Национальные приоритеты России, № 1 (28) 2018, с. 92-98.
- [2] Ананьев Д.В, Тарасов И.А. Развитие систем технологической связи // Автоматика, связь, информатика, №2, 2020 с. 19-23.
- [3] Петренко И.И., Убайдуллаев Р.Р. Пассивные оптические сети PON, часть 1. архитектура и стандарты // Lightwave russian edition №1 2004, с. 22-28.
- [4] Лапунов С.И., Блиндер И. Д., Ананьев Д.В, Левин Л.С. Системы доступа объектов на перегоне на основе пассивных оптических сетей // Автоматика, связь, информатика. 2020, №4, с. 27-33.
- [5] Зингеренко Ю.А. Пассивные оптические сети xPON. СПб: Университет ИТМО, 2020. 115 с.
- [6] Группа компаний «Fibertool» [Электронный ресурс].URL: [https://fibertool.ru/catalog/pasive/1\\_02/ps\\_102\\_a3\\_9b15\\_sc/](https://fibertool.ru/catalog/pasive/1_02/ps_102_a3_9b15_sc/) (Дата обращения 15.02.2022).
- [7] Оборудование ВОЛС «Форс» [Электронный ресурс].URL: <http://www.fopc.ru/content/view/76/126/> (Дата обращения 19.02.2022).
- [8] Компоненты для волоконной оптики «КОМПОНЕНТ» [Электронный ресурс].URL: <https://componentltd.ru/catalog/splavnye-razvetviteli> (Дата обращения 19.02.2022).
- [9] Оптические телекоммуникации «ОПТЕЛ» [Электронный ресурс].URL: <https://optel.ru/proizvodstvo-fbt-razvetvitelei> (Дата обращения 19.02.2022).