

*Франчук Олег Сергеевич, студент группы МГ-116 университета СибГУТИ,*

*e-mail: [fos872@yandex.ru](mailto:fos872@yandex.ru)*

*Фокин Владимир Григорьевич, научный руководитель, доцент, зав. каф.*

*«Фотоника в телекоммуникациях» СибГУТИ,*

*e-mail: [mesos@rambler.ru](mailto:mesos@rambler.ru)*

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОПТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ И ГИБКИХ ОПТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

**Аннотация:** В данной статье рассматриваются различия между обычными оптическими сетями и гибкими оптическими сетями, а также приводится пример расчета оптических каналов при использовании гибких сеток.

**Ключевые слова:** оптическая сеть, гибкая оптическая сеть, спектр, каналы, транспондеры.

**Annotation:** This article discusses the differences between conventional optical networks and flexible optical networks, and also provides an example of the calculation of optical channels using flexible meshes.

**Keywords:** optical network, flexible optical network, spectrum, channels, transponders.

### 1. Введение

#### 1.1 Что такое оптическая сеть

Оптическая сеть – это сеть, построенная на основе технологий, которые в качестве носителя информации используют не электрический сигнал, а *оптический*, т.е. информационный сигнал состоит не из электронов, а из фотонов.

В качестве среды передачи информации используется *оптические волокно*.

## 1.2 Гибкая или Эластичная оптическая сеть

Гибкая или эластичная оптическая сеть, это оптическая сеть, но более современная.

Гибкие оптические сети используют несколько новых технологий, таких как:

- Каналы с переменной модуляцией
- Переменные полосы пропускания оптических каналов
- Технологии группирования и разделения оптических каналов
- Технологии разделения трафика по оптическим каналам (и группам каналов)
- Динамическая маршрутизация оптических каналов
- Оптических суперканалы

Гибкие оптические сети призваны ускорить работу систем передачи информации.

## 2. Особенности и отличия гибких оптических сетей

На рисунке 2.1 показана частотная сетка фиксированных оптических сетей. Некоторые требования укладываются между границами сетки на частоте 50 ГГц, тогда как другие (розовые и оранжевые требования) слишком широки. Как видно из рисунка 1, оптический фильтр с фиксированной сеткой, указанный ITU (Международный Союз Электросвязи), будет иметь большие потери при фильтрации. Это означает, что результирующая сеть DWDM частично негибкая для изменений требований к полосе пропускания.

На рисунке 2 показана способность гибкой сети размещать границу сетки в наиболее подходящем месте:

1. Пропускать широкополосные каналы без фильтрации
2. Компактно упаковывать каналы в максимально «плотный» спектр

В первом случае используется разделение спектра оптической сети на основе DWDM (плотное мультиплексирование с разделением по длине волны),

во втором случае используется разделение спектра оптической сети на основе технологии мультиплексирования с ортогональным частотным разделением каналов (OFDM). Такая сеть называется гибкой из-за ее гибкого разделения спектра.

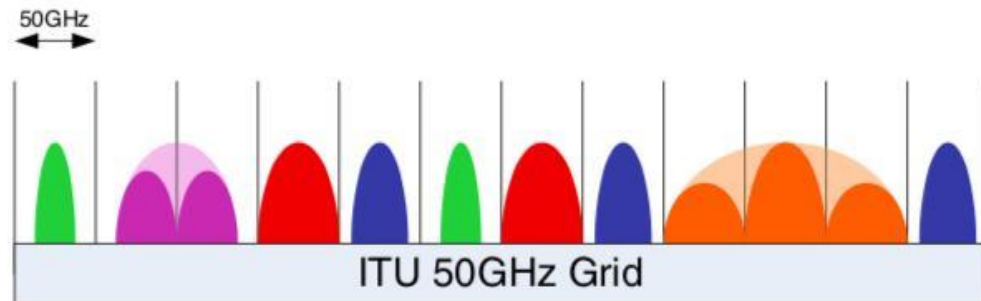


Рисунок 1 – Фиксированная частотная сеть

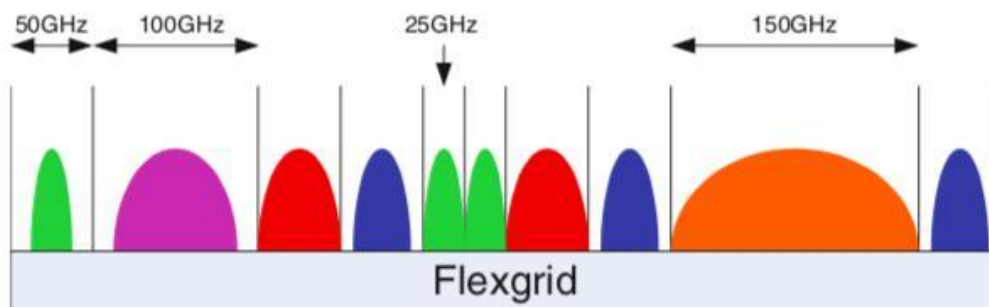


Рисунок 2 – Гибкая частотная сеть

### 3. Особенности оборудования для гибких оптических сетей.

#### 3.1 Транспондеры и мукспондеры с переменной полосой пропускания.

Для построения оптических сетей с переменной полосой пропускания требуется использование специального оборудования, такое как, например, транспондеры с переменной полосой пропускания (от англ. BVTS - transponders with variable bandwidth).

Такие транспондеры могут быстро регулировать свою полосу пропускания под управлением программного обеспечения, изменяя формат модуляции. Одним из главных преимуществ использования таких транспондеров – это то, что они избавляют от необходимости покупать много

транспондеров с различной шириной пропускания в будущем, т.е. можно просто закупить одинаковый тип транспондера, который обеспечит требуемый диапазон скоростей передачи данных. Это снизит затраты на разработку и производство.

Использование BVTS потенциально предоставляет еще одно преимущество: такие транспондеры могут *оценивать* охват и использование спектра. Например, если нам нужно обеспечить только 100 Гбит/с на 400 километров, мы можем использовать формат модуляции с высокой спектральной эффективностью, такой как DP-16QAM, который занимает только 25 ГГц. Однако, если нам нужно передать сигнал на 1500 километров, то мы можем использовать удвоенный частотный спектр формата модуляции DP QPSK, используя один и тот же транспондер, чтобы полностью использовать доступный частотный спектр, для того чтобы избежать использование регенераторов и усилителей.

#### **4. Гибкая сетка (Flex Grid), сравнение с фиксированной**

В обычной сети, в одном волокне можно разместить 88 каналов (при использовании C-диапазона). Диапазон длин волн от 1530 нм. до 1565 нм. Пример расчета диапазона частот для заданного диапазона:

1) 1530 нм это  $1530 \times 10^9$  метров.

- Частота = скорость света (м/с) / длина волны (нм).
- Скорость света = 299792458 м/с.
- Длина волны = 1530 нм.
- Частота =  $299792458 \text{ (м/с)} / 1530 \text{ (нм)} = 196,1 \text{ ТГц}$ .

2) 1565 нм это  $1565 \times 10^9$  метров.

- Частота = скорость света (в м/с) / длина волны (нм).
- Скорость света = 299792458 м/с.
- Длина волны = 1565 нм.
- Частота =  $299792458 \text{ (м/с)} / 1565 \text{ (нм)} = 191,7 \text{ ТГц}$ .

Получаем 4,4 ТГц (196,1 – 191,7) – это ширина спектра, доступного при использовании C-диапазона (Рис. 3).

Таким образом получается, что при использовании фиксированной сетки частот, с разделением каналов по 50 ГГц, общее количество каналов получается равным 88.

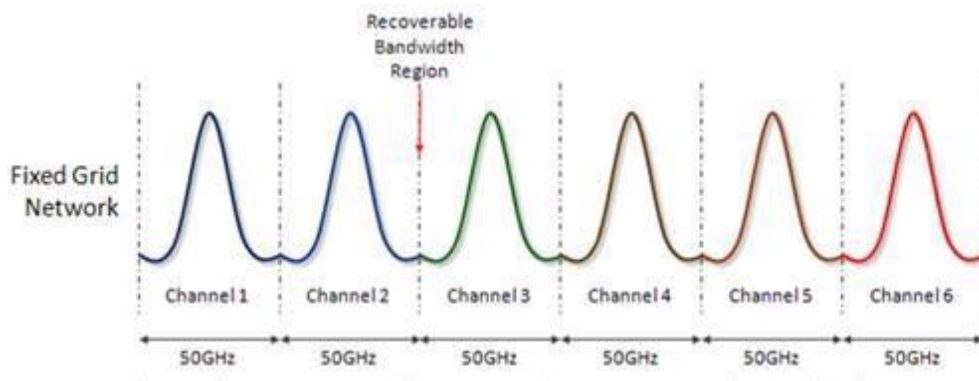


Рисунок 3 – Пример фиксированной сетки частот, со спектральным диапазоном канала равным 50 ГГц

Если учесть, что такие каналы имеют защитные интервалы по 6,25 ГГц с каждой стороны, то получаем  $50 - 2 \times 6,25 = 37,5$  ГГц – фактическая длина волны спектра.

Flex Grid – технология гибкого распределения спектра, которая позволяет использовать такие сетки частот, в которых частота каналов может быть разной, более того, такая система позволяет *динамически* подстраивать частоты каналов, в зависимости от текущей нагрузки.

Тем не менее, использование этой технологии не освобождает нас от необходимости использовать защитные полосы частот, чтобы избежать перекрестных помех (Рис 4).

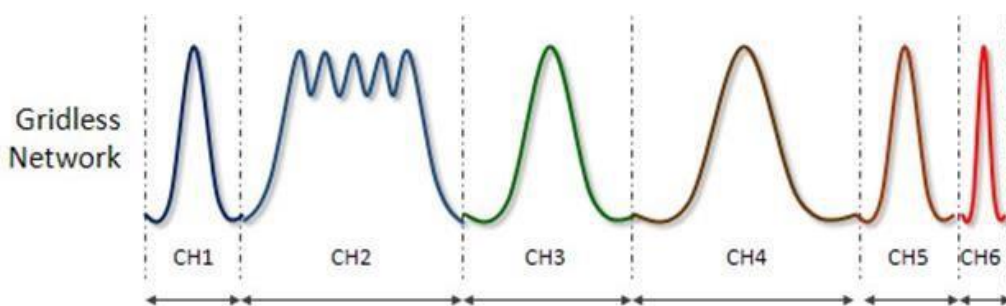


Рисунок 4 - Пример гибкой сетки частот, с различным спектральным диапазоном каналов

Из диаграммы выше (рисунок 4) видно, что различные каналы с разным шагом сетки передаются так же, *последовательно*, сохраняя защитную полосу 6,25 ГГц.

## **5. Преимущества и недостатки гибких сетей**

Главным преимуществом гибких сетей перед фиксированными является то, что использование гибкой сети позволяет определять индивидуальную ширину спектра для каждой длины волны.

Однако, при этом необходимо учитывать, что спектральная ширина канала должна быть кратна 12,5 ГГц. Это наименьшее значение ширины спектрального канала, при использовании гибких сетей. Все остальные размеры каналов должны быть кратны, т.е. получается, что мы можем выделить любой канал, по формуле  $n \times 12,5$  ГГц, например  $37,5 = 3 \times 12,5$ .

Такая ширина обусловлена тем, что использование гибкой сетки не освобождает техническое решение от необходимости использования защитной полосы частот (Рис. 4).

Использование гибких сетей позволяет не только размечать сетку частот в автоматическом режиме, оно так же позволяет делать это *вручную*. Однако нужно учитывать, что при неправильной разметке, могут появиться искажения в пределах оптического спектра.

Длины волн обычно используют ширину не менее 50 ГГц – это позволяет обеспечить пропускную способность не менее 100 Гбит/с в обычной городской сети DWDM. При ручной разметке спектра важно не допускать участков спектра, которые не используются. Например, имеется два канала спектра по 50 ГГц, а между ними неиспользуемый участок в 10 ГГц. Такая ситуация называется «фрагментация спектра».

Ресурсы спектра, т.е. спектральную ширину трудно использовать *повторно* без создания спектральной сегментации.

Например, транспондеры последнего поколения используют технологию 90 Гбод. Эта скорость передачи данных обычно должна помещаться в канал шириной 112,5 ГГц ( $9 \times 12,5$  ГГц). Если эту длину волны удалить, система

восстановит это спектральное пространство и повторно будет использовать его в будущем, но если размечать вручную, то можно допустить ошибку, если повторно использовать освободившийся канал, как:

- Два канала по 50 ГГц, при этом 12,5 ГГц останется неиспользованной (Рис. 5).
- Один канал 75 ГГц, при этом 37,5 ГГц останется неиспользованной (Рис. 5).

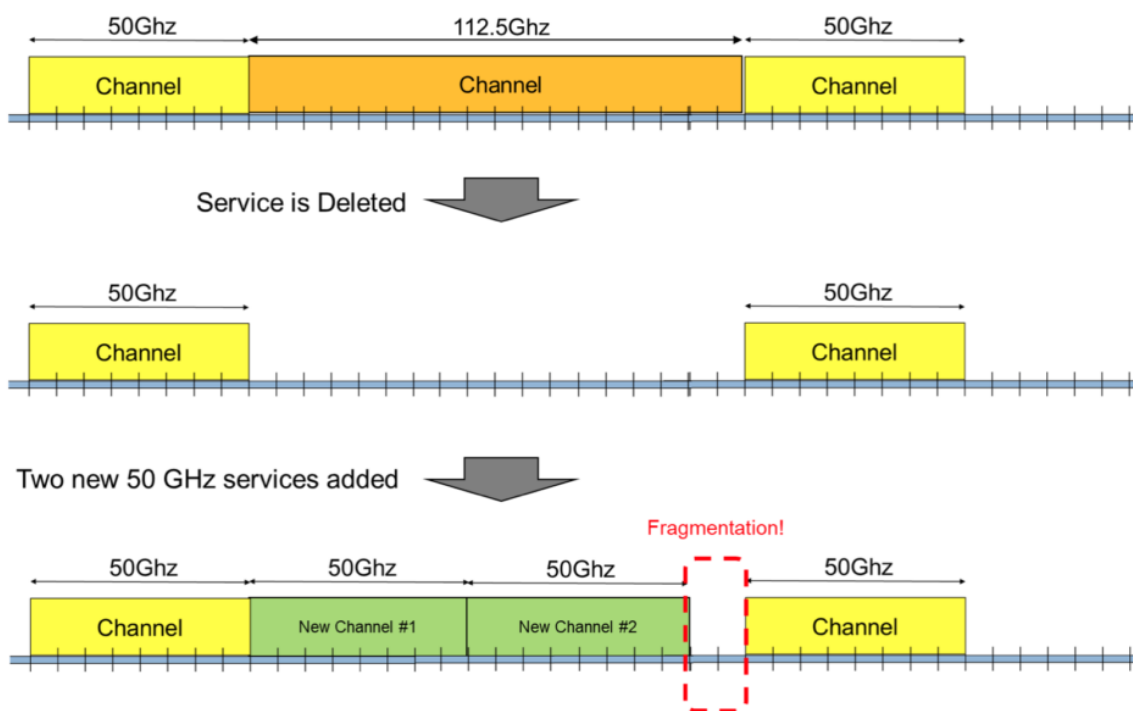


Рисунок 5 – Пример фрагментации сетки частот

Чтобы избежать подобного рода фрагментацию, придуманы несколько способов. Один из таких способов заключается в ограничении ширины спектра канала, например, использование только 50, 75 и 100 ГГц. Однако это ограничит возможности транспондеров, при таком использовании сети максимальная скорость будет ограничена 30 и 60 Гбод.

## 6. Виртуализация сетевых функций

Виртуализация сетевых функций (NFV) — это замена аппаратных сетевых устройств виртуальными машинами, на которых под управлением гипервизора выполняются процессы и ПО.

Виртуализация функций должна помочь в развитии старых и развертывании новых оптических сетей, а также уменьшить их конечную стоимость.

Уменьшение стоимости будет заключаться в том, что операторам связи не придется больше покупать много дорогостоящего и узкоспециализированного оборудования, что, в свою очередь, благоприятно повлияет на стоимость всей системы в целом.

Еще одним преимуществом виртуализации является то, что виртуальные функции, выполняемые программами более *динамичны*, т.к. они могут быть развернуты и удалены по требованию масштабироваться в соответствии с изменением объема трафика. Новые сетевые сервисы станут возможно добавлять и запускать, просто установив необходимое ПО на сервер (виртуальную машину и проч.).

### **Заключение**

Использование новых технологий позволит увеличить производительность современных систем связи. Гибкие оптические сети представляют огромный потенциал для развития оптических, и в целом, сетей связи. Они позволят существенно снизить затраты на обслуживание сетей, и увеличить производительность, что в конечном итоге снизит стоимость услуг.

### **Библиографический список:**

1. WHAT IS A FLEX-GRID ROADM? // FUJITSU URL: <https://thecinict.com/2020/07/08/what-is-a-flexible-grid-roadm/> (дата обращения: 05.08.2022).
2. What is Flex Grid Technology in Optical Transmission Domain // MEDIUM.COM URL: <https://medium.com/@swapnilmahajan/what-is-flex-grid-technology-in-optical-transmission-domain-6edd84f7f983> (дата обращения: 05.08.2022).
3. NFV и пример ее применения для оператора связи // Издательство "Открытые Системы" URL: <https://www.osp.ru/lan/2014/10/13043188> (дата



обращения: 05.08.2022).