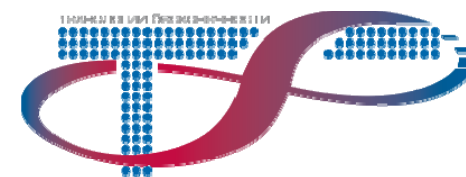


Анализ форматов модуляции для DWDM систем связи со скоростью 40 Гбит/с

Наний О.Е.,
Трещиков В.Н.

ВКВО, г. Пермь
12 октября 2011 г.

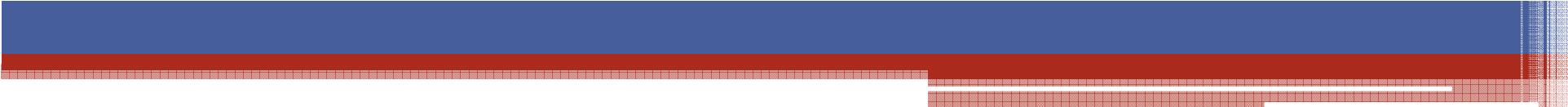


Содержание



- Введение
- Сравнение форматов
 1. Дубинарный (ODB/PSBT), RZ AMI, VSB CSRZ
 2. Дифференциальные фазовые форматы: двухуровневый (DPSK, ADPSK) и четырехуровневый (DQPSK)
- Применимость формата NRZ ADPSK
- Выводы

- Рост потребности в скорости и объеме получения информации ставит задачу увеличения пропускной способности DWDM-систем связи.
- Увеличение спектральной эффективности использования их рабочих спектральных областей.
 - уменьшение расстояния между каналами
 - увеличение канальной скорости
- DWDM системы с канальной скоростью 40 Гбит/с плохо работают на основе традиционных амплитудных форматов
- Когерентные системы связи дороги и эффективны в условиях замены кабельной инфраструктуры (решение для 100 Гбит/с и выше)
- Необходимо компромиссное решение...

- 
1. В оптических системах связи 10 Гбит/с и меньше используются бинарные амплитудные форматы модуляции (ASK)
 2. При увеличении канальной скорости до 40 Гбит/с, требуется внедрение новых, более эффективных и менее чувствительных к искажениям форматов модуляции:
 1. Без изменения формата модуляции требуется четырехкратное (на 6 дБ) увеличение (OSNR)
 2. В 16 раз увеличиваются требования к точности компенсации хроматической дисперсии
 3. Величина максимально допустимой накопленной поляризационной модовой дисперсии (ПМД) уменьшается в 4 раза
 4. Нелинейные внутриканальные эффекты

Содержание

- Введение
- Сравнение форматов
 1. Дубинарный (ODB/PSBT), RZ AMI, VSB CSRZ
 2. Дифференциальные фазовые форматы: двухуровневый (DPSK, ADPSK) и четырехуровневый (DQPSK)
- Применимость формата NRZ ADPSK
- Выводы

Формат модуляции	OSNR_R	Нелинейные искажения	Сложность передатчика	Сложность приемника	DWDM сетка 50 ГГц	Помехи от 10 ГГц каналов ASK
NRZ ASK	15,9 дБ	Большие	1 МЦ	1 ФД	Нет	Существенные
DB (PSBT)	14-15 дБ	Большие	1 МЦ	1 ФД	Да	Существенные
RZ AMI	13,4 дБ	Умеренные	2 МЦ	1 ФД	Нет	Умеренные
VSB CSRZ	14,7 дБ	Умеренные	2 МЦ, 1 ОФ	1 ФД	Да	Умеренные
NRZ ADPSK	11,7 дБ	Слабые	1 МЦ	2 ФД, 1 ДИ	Да	Слабые
RZ DPSK	11,1 дБ	Слабые	2 МЦ	2 ФД, 1 ДИ	Нет	Слабые
NRZ DQPSK	13,2 дБ	Умеренные	2 МЦ	4 ФД, 2 ДИ	Да	Существенные
RZ DQPSK	12,2 дБ	Умеренные	2-3 МЦ	4 ФД, 2 ДИ	Да	Существенные

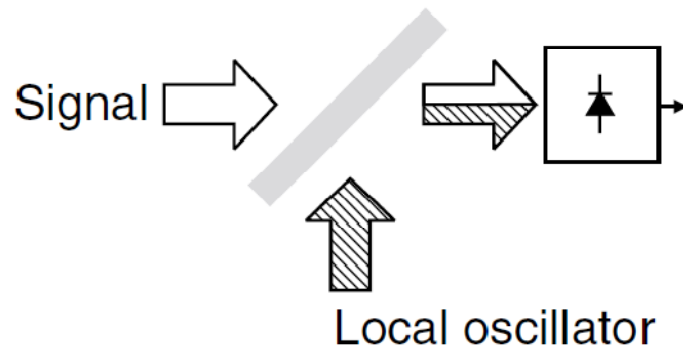
Недостатки амплитудных форматов при скорости 40 Гбит/с

- Сильные нелинейные искажения
- В 40 Гбит/с системах преобладают межсимвольные внутриканальные нелинейные эффекты: фазовая кросс-модуляция и четырехволновое смешение

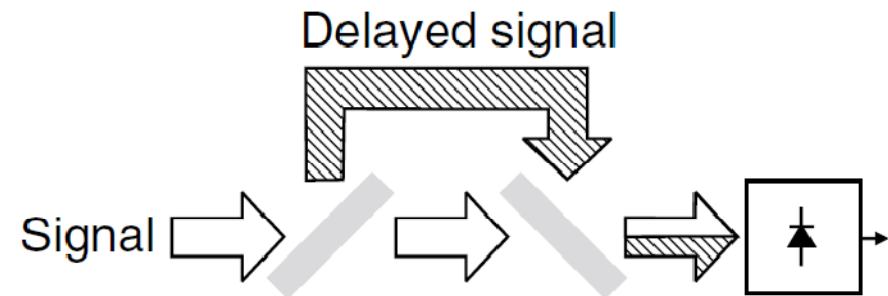
Рассматриваемые амплитудные форматы

- **Дуобинарный (ODB/PSBT):** позволяет передавать 80 DWDM каналов в С-диап.
- **RZ AMI:** снижает штраф от внутриканальных нелинейных эффектов (Чередуются полярность последовательных «единиц» независимо от числа нулей между ними)
- **VSB CSRZ** позволяет передавать 80 DWDM каналов в С-диапазоне

Фазовые форматы: демодуляция когерентная и дифференциальная



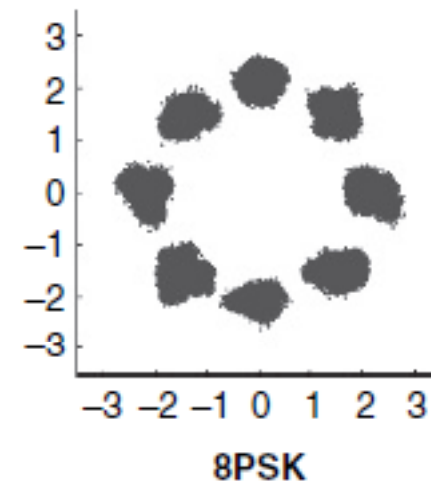
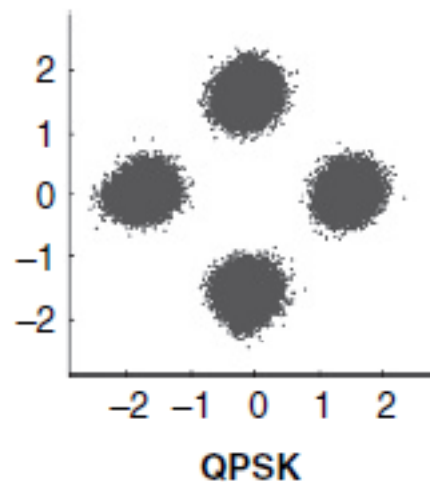
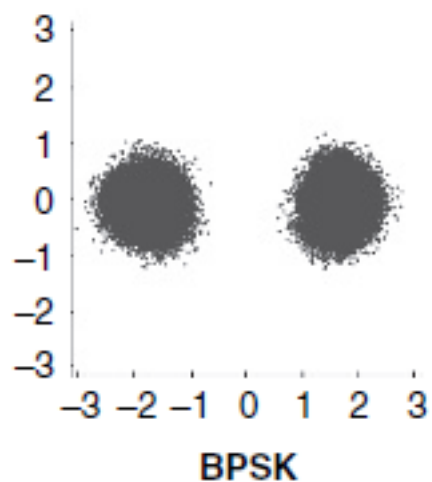
(a) Coherent demodulation



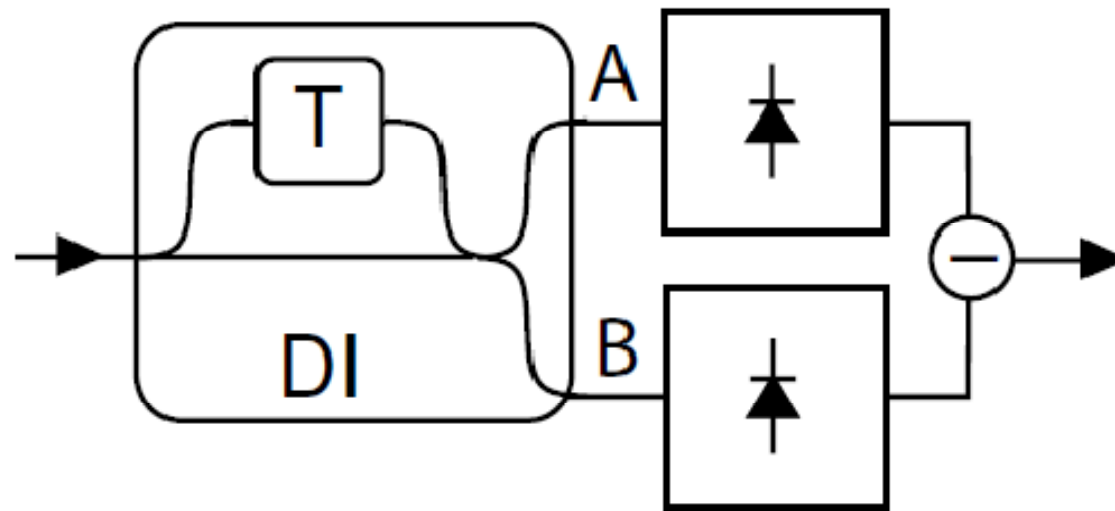
(b) Delay demodulation

При дифференциальной демодуляции величина задержки равна временному интервалу между последовательными символами

Фазовые форматы модуляции



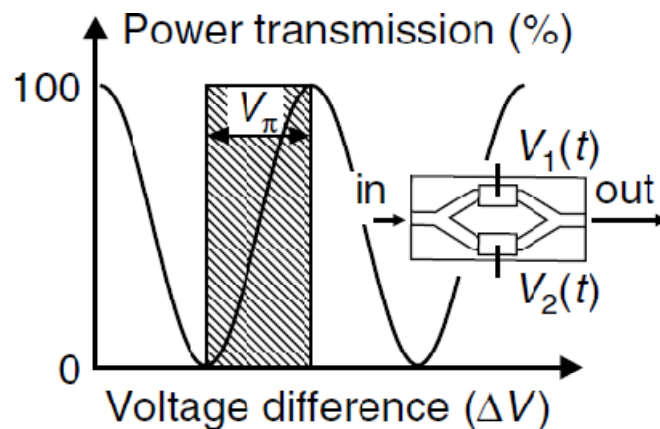
Балансный приемник DPSK формата



В принципе детектирование возможно с использованием одного фотоприемника, однако эффективнее оказывается использование балансного приемника

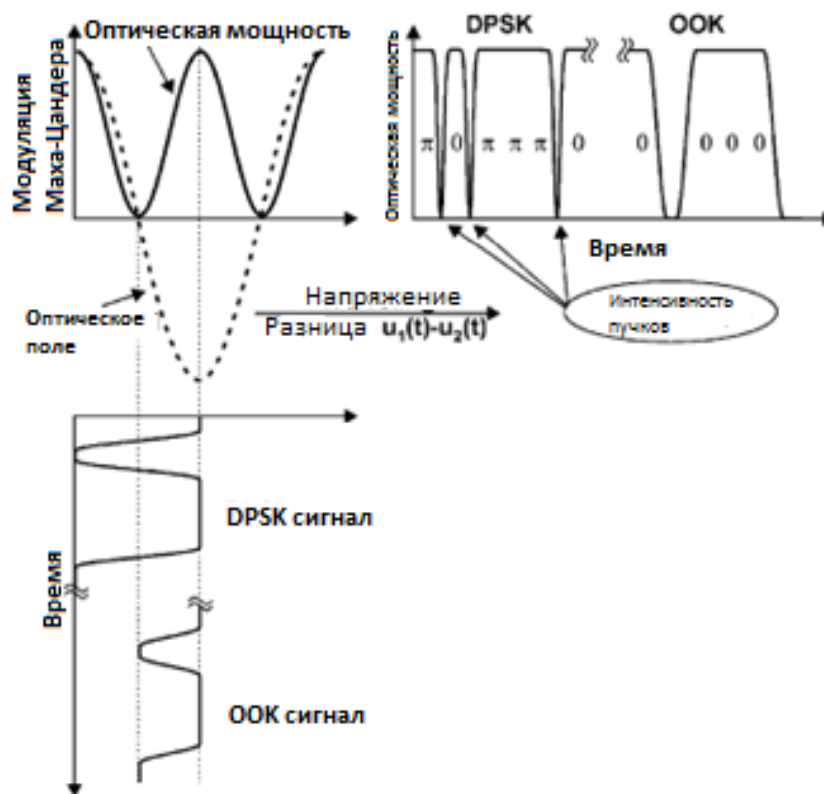
Модулятор Маха-Цендера (MZM)

Амплитудная и фазовая модуляция

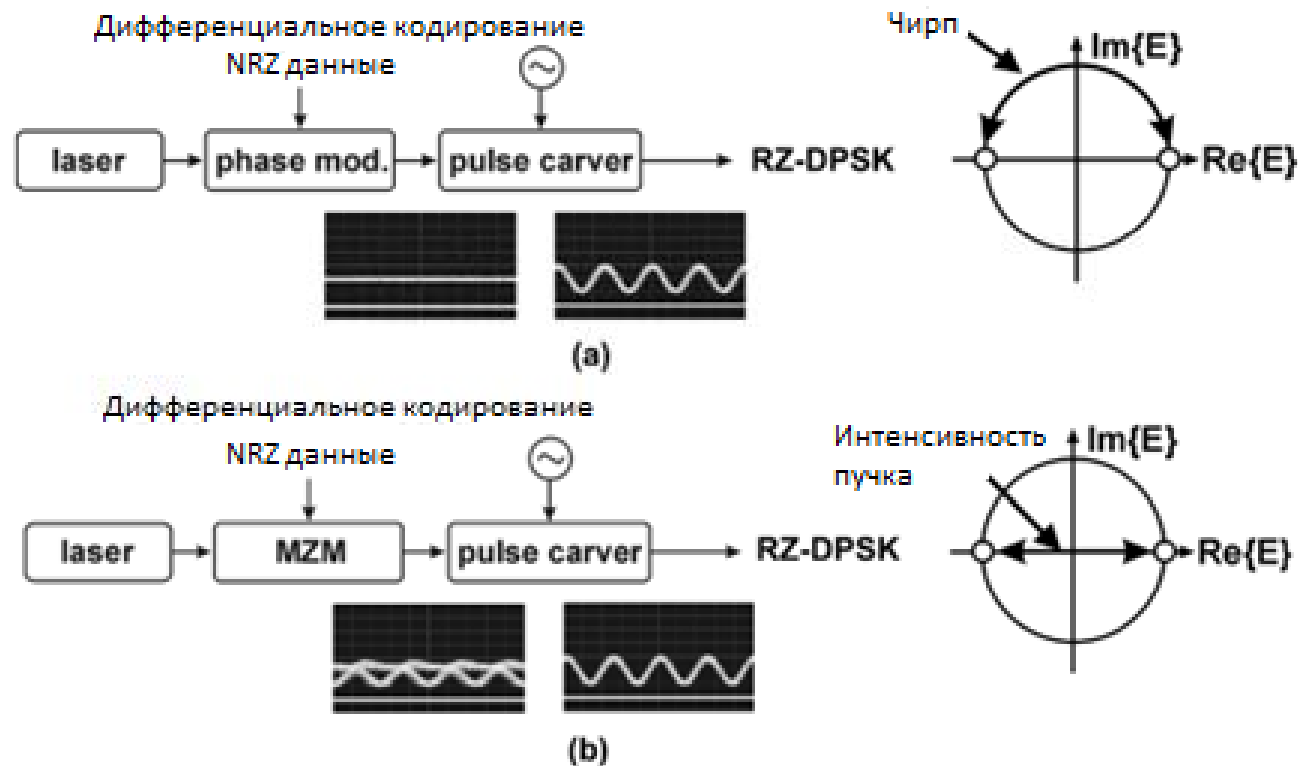


Зависимость коэффициента пропускания по мощности от разности напряжений, приложенных к двум плечам, и структура модулятора Маха-Цендера (приведена на врезке)

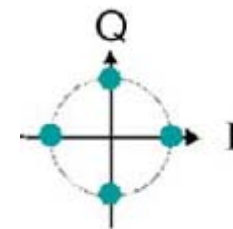
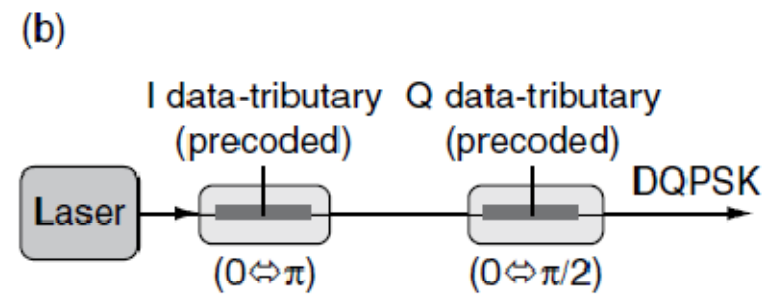
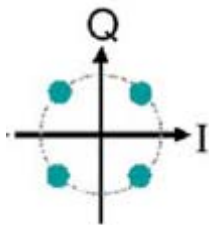
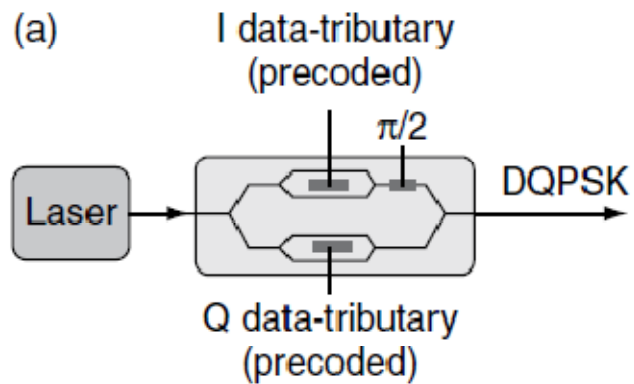
Модулятор Маха-Цандера в режиме фазовой модуляции (NRZ DPSK)



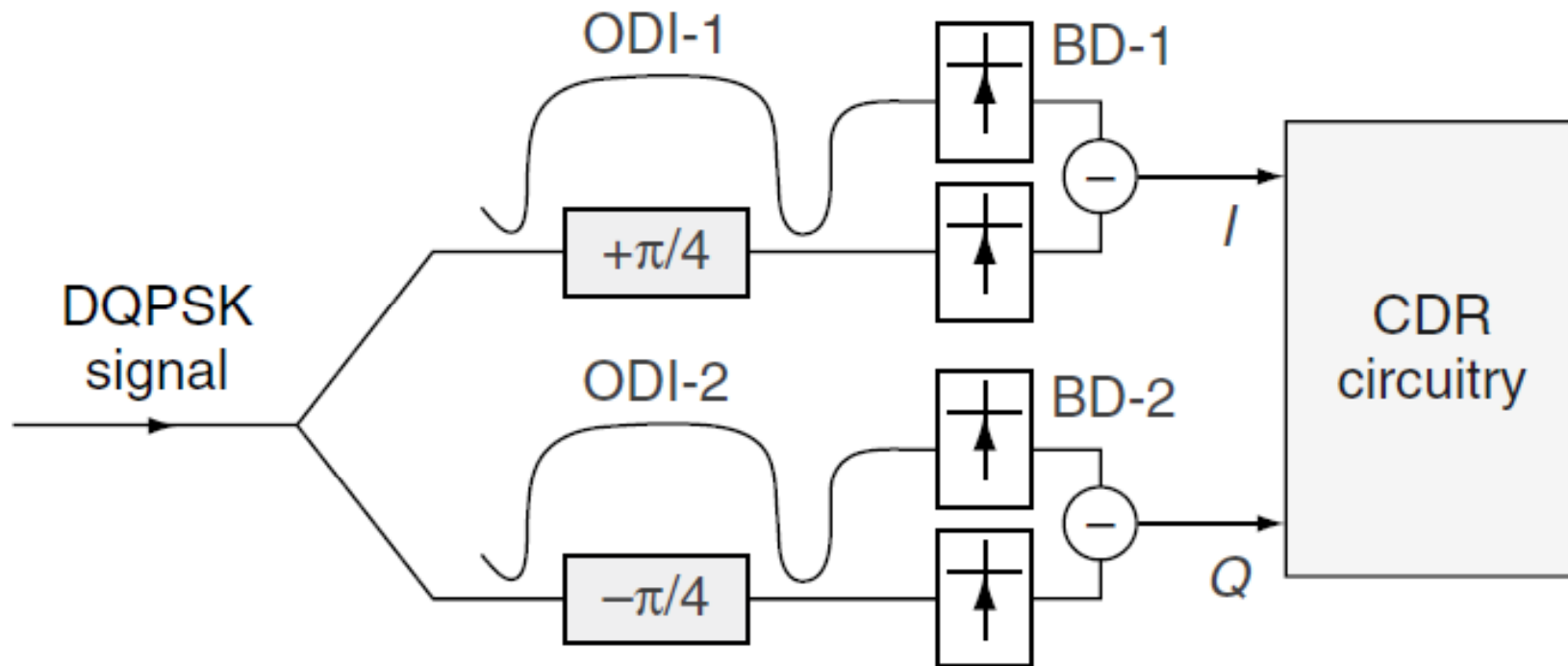
Модулятор Маха-Цандера в режиме фазовой модуляции (RZ DPSK)



Передатчики DQPSK



Приемник DQPSK



Формат модуляции	OSNR_R	Нелинейные искажения	Сложность передатчика	Сложность приемника	DWDM сетка 50 ГГц	Помехи от 10 ГГц каналов ASK
NRZ ASK	15,9 дБ	Большие	1 МЦ	1 ФД	Нет	Существенные
DB (PSBT)	14-15 дБ	Большие	1 МЦ	1 ФД	Да	Существенные
RZ AMI	13,4 дБ	Умеренные	2 МЦ	1 ФД	Нет	Умеренные
VSB CSRZ	14,7 дБ	Умеренные	2 МЦ, 1 ОФ	1 ФД	Да	Умеренные
NRZ ADPSK	11,7 дБ	Слабые	1 МЦ	2 ФД, 1 ДИ	Да	Слабые
RZ DPSK	11,1 дБ	Слабые	2 МЦ	2 ФД, 1 ДИ	Нет	Слабые
NRZ DQPSK	13,2 дБ	Умеренные	2 МЦ	4 ФД, 2 ДИ	Да	Существенные
RZ DQPSK	12,2 дБ	Умеренные	2-3 МЦ	4 ФД, 2 ДИ	Да	Существенные

1. Выигрыш в величине требуемого OSNR по сравнению с системами на основе амплитудных форматов модуляции. Выигрыш при использовании балансного приемника составляет около 3 дБ.
2. Требуемый $OSNR_R$ 11,7 дБ (совсем незначительно уступает формату RZ DPSK)
3. Большая допустимая мощность (малые нелинейные искажения)*
4. Простота реализации
5. Поддержка DWDM сетей с межканальным расстоянием 50 ГГц*

1. Выигрыш в величине требуемого OSNR по сравнению с системами на основе амплитудных форматов модуляции. Выигрыш при использовании балансного приемника составляет около 3 дБ.
2. Требуемый $OSNR_R$ 11,7 дБ (совсем незначительно уступает формату RZ DPSK)
3. Большая допустимая мощность (малые нелинейные искажения)*
4. Простота реализации
5. Поддержка DWDM сетей с межканальным расстоянием 50 ГГц*

Содержание

- Введение
- Сравнение форматов
 1. Дубинарный (ODB/PSBT), RZ AMI, VSB CSRZ
 2. Дифференциальные фазовые форматы: двухуровневый (DPSK, ADPSK) и четырехуровневый (DQPSK)
- **Применимость формата NRZ ADPSK**
- Выводы

NRZ ADPSK в DWDM системах с межканальным расстоянием 50 ГГц

- Возможность реализации DWDM сетей с межканальным расстоянием 50 ГГц очень важна с экономической точки зрения:
 - можно использовать 80 спектральных каналов в стандартном С-диапазоне
- Экспериментально показана передача 40 Гбит/с NRZ ADPSK в DWDM системах с межканальным расстоянием 50 ГГц, длина модельной линии связи 1200 км

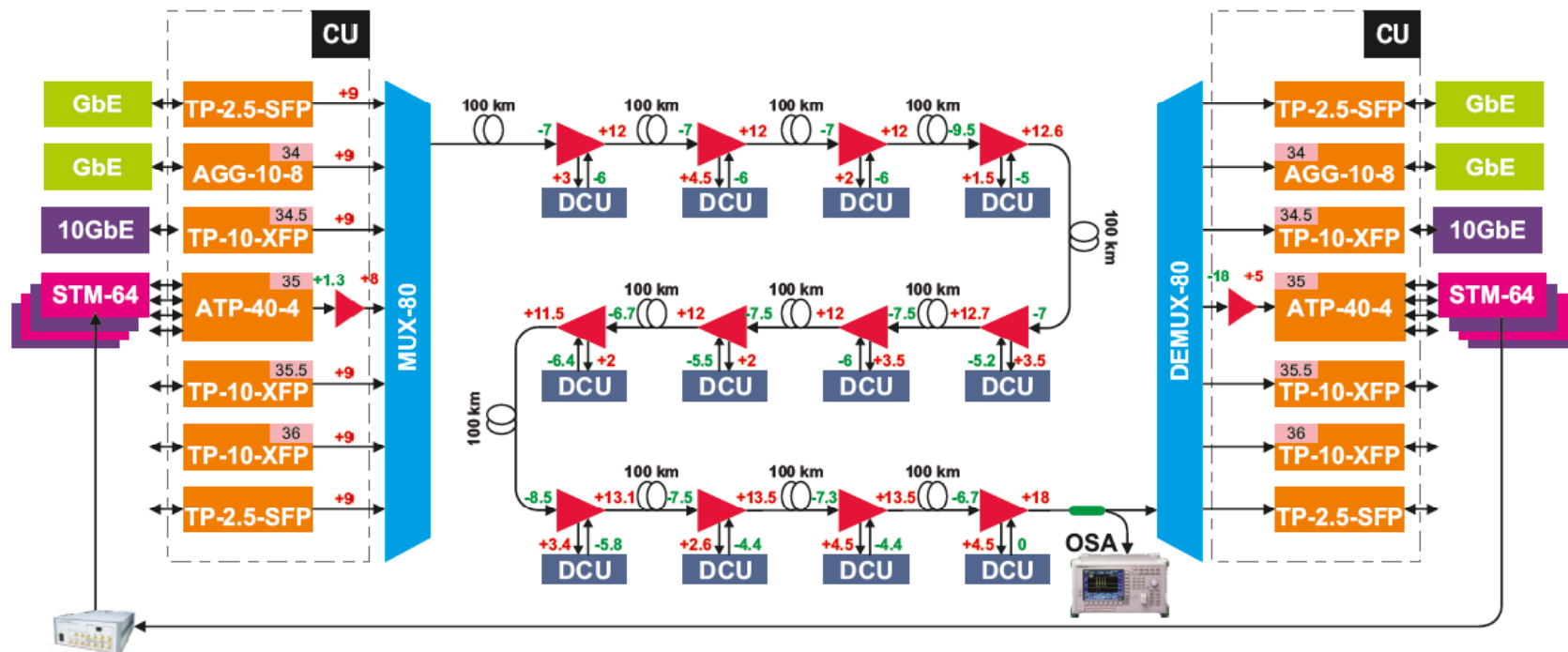
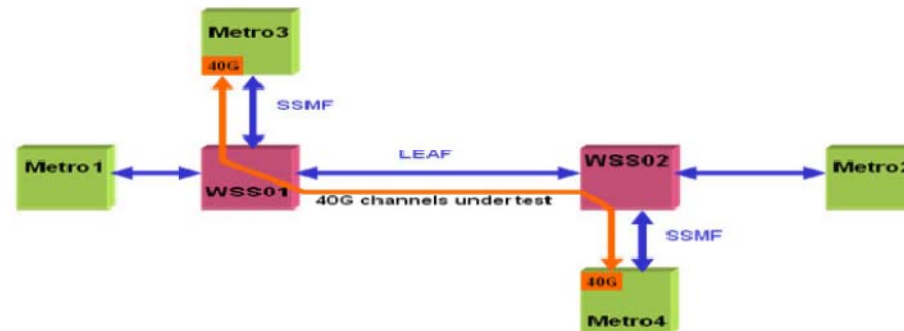


Схема экспериментальной установки для исследования гетерогенной 80-канальной DWDM линии связи, содержащей 3 канала 40G NRZ ADPSK в сочетании с каналами 10G NRZ ASK и 2,5G NRZ ASK DM

NRZ ADPSK в DWDM системах с межканальным расстоянием 50 ГГц

- Безошибочная работа в течении 24 часов во всех исследованных сочетаниях взаимного расположения каналов.
- Проведенные экспериментальные исследования показали, что системы связи 40 Гбит/с NRZ ADPSK могут работать в 80-канальных DWDM линиях с расстоянием между каналами 50 ГГц как при расположении их в соседних каналах, так и при передаче по ближайшим соседним каналам информации в формате 10G NRZ ASK.
- Нелинейный штраф зависит от дисперсионной карты и накапливается при увеличении дальности



- *Часть полностью оптической сети компании Google. Длина оптического соединения между городами 3 и 4 (Metro 3 и Metro 4), на котором использовались системы с канальной скоростью 40 Гбит/с равно 1200 км. В состав оптического соединения входят два реконфигурируемых мультиплексора ввода-вывода WSS01 и WSS02 с шириной полосы 43 ГГц.*

Продемонстрирована надежность работы систем связи NRZ ADPSK с канальной скоростью 40 Гбит/с в условиях реального коммерческого трафика и при наличии в линии связи мультиплексоров ввода-вывода.

Kamalov V. FIELD VERIFICATION OF 40G DPSK UPGRADE IN A LEGACY 10G NETWORK. OFC 2010, paper NTuC2.

Содержание

- Введение
- Сравнение форматов
 1. Дубинарный (ODB/PSBT), RZ AMI, VSB CSRZ
 2. Дифференциальные фазовые форматы: двухуровневый (DPSK, ADPSK) и четырехуровневый (DQPSK)
- Применимость формата NRZ ADPSK
- **Выводы**

Выводы

- Формат NRZ ADPSK с канальной скоростью 40 Гбит/с можно использовать в DWDM сетях с межканальным расстоянием 50 ГГц.
- NRZ ADPSK является лучшим форматом для 40 Гбит/с DWDM систем связи
- Возможна работа разнородных спектральных каналов (10 Гбит/с ASK и 40 Гбит/с NRZ ADPSK) в сети DWDM с межканальным расстоянием 50 ГГц
- Необходима оптимизация дисперсионной карты для уменьшения влияния нелинейных искажений (подробнее в докладе Р.Р. Убайдуллаева)

Литература

1. Величко М.А., Наний О.Е., Сусьян А.А. Новые форматы модуляции в оптических системах связи. //Lightwave Russian Edition, 2005, № 4, с. 21–30.
2. Наний О.Е., Трещиков В.Н. Российское оборудование DWDM с канальной скоростью 40 G и 100 G. Вестник связи, 2011, №4, с.52.
3. Наний О.Е., Трещиков В.Н. Российское оборудование 40 Гбит/с – реальность! Фотон-экспресс, 2010, №5 (85), с.28-30.
4. Наний О.Е., Трещиков В.Н. Российское DWDM оборудование с канальной скоростью 40G и 100G для сетей дальней связи. Тезисы докладов 5-го семинара «Особенности и перспективы использования волоконных и кабельных линий связи в современных сетях» (ВОЛС-2010), Москва, 2010, с.14.
5. Листвин В.Н., Трещиков В.Н. DWDM-системы. Фотон-Экспресс, 2010, № 5 (85), с. 40-42.
6. Наний О.Е. Когерентные системы связи. //Lightwave Russian Edition, 2008, № 4, с. 23-27.

Спасибо за внимание