

ОТЗЫВ

официального оппонента Боева Михаила Андреевича на диссертацию Рабенандрасана Жослена на тему «Исследование влияния на окно работоспособности хроматической и поляризационной модовой дисперсий при фазовой самомодуляции и фазовой кросс-модуляции высокоскоростных волоконно-оптических систем передачи со спектральным уплотнением», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

1. Актуальность темы исследования

Исследование нелинейных эффектов в скоростных каналах связи имеет важное как теоретическое, так и практическое значение для внедрения линий с системой передачи класса 10G и выше, особенно под действием влияния хроматической и поляризационной модовой дисперсий. Знание природы и характера проявления линейных эффектов при наличии нелинейных искажений, в частности, фазовой самомодуляции и фазовой кросс-модуляции позволяет выбрать эффективные форматы модуляции и разработать оптимальные алгоритмы обработки, ослабляющие деградацию информационных сигналов в реальных линиях связи.

При переходе со скорости передачи с 10 Гбит/с на скорости передачи 40 Гбит/с, требование к отношению сигнал/шум (OSNR) увеличивается на 6 дБ, влияние поляризационной модовой дисперсии в 4 раза, а влияние хроматической дисперсии в 16 раз, увеличивается влияние нелинейных эффектов, таких как фазовая самомодуляция и кросс-модуляция. Для обеспечения перехода системы со скорости передачи с 100 Гбит/с на скорости передачи 200 Гбит/с требует дополнительного значения OSNR на 8-10 дБ.

Хроматическая дисперсия и поляризационная модовая дисперсия генерируют межсимвольные искажения. Нелинейные эффекты уменьшают отношение сигнал/шум на приемнике. Нелинейный переходный разговор не позволяет увеличить мощность канала и получить требуемую величину отношения сигнал/шум. Параметры n_2 , D , A_{eff} определяют уровень переходного разговора, возникающий при требуемых расстояниях между каналами плотной DWDM-системы.

Результаты таких взаимодействий будут отражены на дисперсионной длине. Изучая эти эффекты, можно оценить возможности передачи при использовании оптического волокна в высокоскоростных системах передачи. Таким образом, выбранная тема научного исследования является актуальной.

Вход. № 64/21
« 17 » 05 2021 г.
подпись Зад

2. Краткая характеристика работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений, списка литературы, списка иллюстраций, списка таблиц и приложения.

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, представлены цель работы и решаемые задачи, сформулированы научная новизна и теоретическая и практическая значимость работы, приведены основные положения, выносимые на защиту и указаны сведения о структуре работы.

В **первой главе** проведено исследования влияния линейных и нелинейных эффектов при распространении сигналов по оптическому волокну. Представлена классификация линейных и нелинейных эффектов, ухудшающих оптический сигнал. Приведено определение внутриканальных и межканальных нелинейных эффектов.

Во **второй главе** обосновано введение термина «окна работоспособности» и дано определение этого термина. Разработан новый и оригинальный метод определения дисперсионной длины, возникающий под влиянием хроматической и поляризационной модовой дисперсий при сильном воздействии фазовой самомодуляции и фазовой кросс-модуляции, позволяющая оценить изменение окна работоспособности на основе потерь мощности.

В **третьей главе** разработаны методы компенсации хроматической и поляризационной модовой дисперсии и нелинейных эффектов при прямом и когерентном детектировании, позволяющие улучшить характеристики оптического волокна и системы передачи, т. е. улучшить целостность окна работоспособности.

Четвертая глава диссертации посвящена применению основных полученных результатов в определении длины регенерационного или усилительного участков и оптического отношения сигнал/шум при прямом и когерентном детектировании. Приведено сравнение результатов определения величины OSNR согласно методу, предполагаемому в диссертационной работе, и методу ITU-T G.692. Представлен метод расчета значения OSNR для когерентных систем передачи с использованием оптических волокон типа TXFTM фирмы Corning. Получены решения, позволяющие точно определить коэффициент битовых ошибок при проектировании высокоскоростных наземных волоконно-оптических линий связи, не угрожая закрытия окна работоспособности.

Заключение содержит основные выводы и результаты выполненного диссертационного исследования.

3. Научная новизна заключается в следующем:

- Предложен новый метод аналитической оценки изменения окна работоспособности при плотном канальном трафике, отличающийся тем, что учитывают совместное воздействие хроматической и поляризационной модовой дисперсий в результате сильного воздействия фазовой самомодуляции и фазовой кросс-модуляции..
- Впервые получен новый метод определения дисперсионной длины и потерь мощности под действием CD и PMD с учетом фазовой самомодуляции и фазовой кросс-модуляции, позволяющий оценить изменения окна работоспособности на основе потерь мощности.
- Получены решения, связанные с компенсацией линейных и нелинейных эффектов, которые дают возможность эффективно стабилизировать изменения окна работоспособности благодаря уменьшению потерь мощности при высокоскоростных WDM-системах передачи с ростом скорости передачи.
- Получены решения, позволяющие определить отношение сигнал/шум и длину регенерационного (усилительного) участка с учетом разработанных методов по компенсации линейных и нелинейных эффектов, отличающиеся от методов ITU-T G.692 тем, что позволяют более точно определить коэффициент битовых ошибок.

4. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность

В диссертационной работе изучены причины возникновения нелинейных эффектов во взаимосвязи с форматами оптического сигнала, хроматической модовой и поляризационной модовой дисперсией при построении мноволновых систем передачи. Результаты научно-квалификационной работы содержат оценку и учет проведенных эффектов для улучшения характеристик передачи, т. е. окна работоспособности.

Проведённые исследования позволили сформулировать основные положения, выносимые на защиту:

1. Методы определения дисперсионной длины под действием хроматической и поляризационной модовой дисперсий с учетом фазовой самомодуляции и фазовой кросс-модуляции, а также систем передачи позволяет оценить изменение окна работоспособности на основе потерь мощности при повышении скорости передачи.
2. Решения, связанные с учетом новых значений параметров оптических волокон и систем передачи, которые дают возможность эффективно стабилизировать изменение окна работоспособности с учетом влияния

хроматической и поляризационной модовой дисперсий при наличии SPM и XPM для наземных высокоскоростных WDM-систем передачи при прямом и когерентном детектировании. Компенсация CD и PMD позволяют уменьшить потери мощности в 10 раз.

3. Предложения по выбору различных одномодовых оптических волокон, в которых учтены значения передаточных характеристик волокна и системы передачи, а так же вероятность возникновения нелинейных эффектов. Например, выбор волокна типа TXFTM фирмы Corning позволяет получить выигрыш 2-3 дБ по отношению сигнал/шум по сравнению с волокном SMF-28 ULL и еще больший по сравнению с другими волокнами, такими как G.652 и G.655.
4. Решения, связанные с определением отношения оптического отношения сигнал/шум с учетом компенсации хроматической и поляризационной модовой дисперсий и нелинейных эффектов в оптическом канале, что позволяет более точно определить коэффициент бытовых ошибок при высокоскоростных передачах для одномодовых оптических волокон.

Основные результаты выполненной диссертационной работы доложены и обсуждены на семи международных конференциях и форумах, опубликованы в четырех статьях в журналах, входящих в Перечень Высшей аттестационной комиссии при Минобрнауки РФ, две публикации опубликованы в научном журнале, индексируемом в международной базе данных Scopus, что так же подтверждает достоверность результатов, полученных в ходе выполнения диссертационной работы.

5. Теоретическая и практическая значимость

Теоретическая значимость работы заключается в оценке воздействия хроматической и поляризационной модовой дисперсии на процессы фазовой самомодуляции, что весьма важно при передаче сигналов по оптическому волокну, с точки зрения угрожающего закрытия окна работоспособности при увеличении скорости передачи.

Практическая значимость заключается:

- в получении новой метода определения дисперсионной длины под действием изучаемых эффектов;
- во внедрении методов улучшения характеристик оптического волокна и систем передачи;
- в получении решения, связанного с определением регенерационного или усилительного участка и определения отношения сигнал/шум,

которое может быть использовано при проектировании высокоскоростных волоконно-оптических линий связи.

6. Замечание по диссертационной работе

В качестве недостатков представленной диссертации можно отметить следующее:

1. Перезагрузка первой главы известными формулами затрудняет оценку личного вклада соискателя;
2. Не ясно чем отличаются параметры Q_1 от Q_2 , λ_1 от λ_2 , $A_{\text{eff},1}$ от $A_{\text{eff},2}$, n_{21} от n_{22} и $P_{\text{in},1}$ от $P_{\text{in},2}$ в формуле (2.20), приведенной на странице 66, и в тексте диссертации отсутствуют такие пояснения;
3. В формуле (1.52) автор обозначил эффективность FWM (стр. 43) буквой η , а в уравнении (4.22) той же буквой обозначена константа нелинейного искажения (стр.121), следовало бы использовать другое обозначение.

7. Общая оценка по диссертации

Перечисленные замечания вносят рабочий характер и не влияют на высокую оценку работы в целом. Диссертация Рабенандрасана Ж. представляет собой законченную научно-исследовательскую работу. Работа изложена на высоком уровне. Автореферат адекватно отражает содержание диссертации.

8. Общее заключение

Вышеизложенное дает основание считать, что представленная диссертация Рабенандрасана Ж. удовлетворяет требования Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительство Российской Федерации от 24.03.2013 г. №842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Рабенандрасана Жослен заслуживает присвоения ученой степени кандидата технической науки по специальности 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникации.

Официальный оппонент  Боев Михаил Андреевич
«12» мая 2021 года

Сведения об официальном оппоненте:

Боев Михаил Андреевич, доктор технических наук, 05.09.02 – Электротехнические материалы и изделия, место работы - Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего



образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ»,
должность – профессор кафедры физики и технологии электротехнических
материалов и компонентов «ФТЭМК»

Адрес: 111250, г. Москва, Красноказарменная ул., 14

Контакт: +7 495 362-78-58

E-mail: tikhonovai@mpei.ru