

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК 681.785

Механиков
Александр Владимирович

Поляризационный метод измерения поляризационно-модовой дисперсии
оптоволокна

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук
по специальности 1-38 80 01 «Приборостроение, метрология и
информационно-измерительные приборы и системы»

Научный руководитель
Гурский А. Л.
Доктор физ-мат наук,
профессор.

Минск 2019

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время волоконно-оптические системы связи и передачи информации (ВОСП) являются основным направлением развития телекоммуникационных систем. Они обладают рядом существенных преимуществ перед системами связи других видов, среди которых следует выделить: обеспечение широкой полосы пропускания, малое затухание сигнала, высокая помехозащищенность, низкий уровень шумов, малый вес и объем, высокая защищенность от несанкционированного доступа, длительный срок эксплуатации.

Одним из основных факторов, влияющих на скорость передачи информации в высокоскоростных ВОСП, являются дисперсионные характеристики оптического волокна (ОВ), в частности – поляризационная модовая дисперсия (ПМД). Под ПМД понимается уширение светового импульса в ОВ, вызванное дифференциальной групповой задержкой двух ортогональных линейно-поляризованных мод, распространяющихся по волоконному кабелю и возникающих вследствие нарушения concentричности сердцевины ОВ, внутренних и внешних механических напряжений, неоднородности материала и т.д. Уширение оптического импульса, передаваемого по ОВ, в свою очередь, приводит к увеличению числа битовых ошибок и снижению скорости передачи информации. Характеристикой ПМД является дифференциальная групповая задержка (ДГЗ) – разница во времени прихода двух ортогональных линейно-поляризованных мод на данной длине волны и в данный момент времени. Кроме ДГЗ, ПМД характеризуется коэффициентом поляризационной модовой дисперсии D_{PMD} – значением ДГЗ, нормированным к длине ОВ (1 км).

Основным источником ПМД в линии связи служит ОВ. Кроме того, свой вклад в ПМД линии вносят и другие компоненты ВОСП – волоконно-оптические разъёмные соединения, ответвители, переключатели, аттенюаторы, изоляторы, мультиплексоры, усилители и т.д. Эффект ПМД необходимо учитывать по мере достижения высоких скоростей в оптическом канале связи. Также, в силу накопительного характера ПМД, ее негативное влияние усиливается с увеличением протяженности ВОСП. Кроме этого, влияние ПМД на качество линий связи усиливается с ростом количества каналов (внедрение WDM систем на устаревшие линии). ДГЗ и D_{PMD} – это параметры, измерения которых необходимо как при производстве оптического кабеля, так и по завершении его прокладки вследствие наличия большого количества уже проложенных ВОСП с неизвестной ПМД. На основании таких измерений можно принимать решения о возможности модернизации уже существующих ВОСП и оценивать предельную скорость передачи информации в проектируемых ВОСП и качество ВОСП в целом.

Соответственно исследование такого параметра как ПМД и различных методов её измерения и оценки является довольно актуальной задачей. Кроме того данный вопрос имеет и экономически выгодный характер. Проведение метрологических работ в других государствах, например в России, обходится довольно дорого и требует привлечения больших валютных средств, поэтому целесообразно развивать данное направление, а в дальнейшем даже создавать свою эталонную базу в области ВОСП в Республике Беларусь, с ее активно развивающейся сетью ВОСП.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

В настоящее время в Республике Беларусь происходит массовое внедрение средств волоконно-оптической связи. Эти средства требуют создания соответствующего метрологического обеспечения, включающего в том числе и эталоны соответствующих физических величин.

Поляризационная модовая дисперсия – это время дифференциальной групповой задержки (DGD) между двумя ортогонально поляризованными модами оптического излучения, распространяющегося в ОВ. ПМД в ОВ вызывает расширение импульса в цифровых системах и искажения в аналоговых системах. На момент начала работы над магистерской диссертацией в Республике Беларусь не существовало собственного Национального эталона измерения данной величины. Этим обусловлена актуальность данной работы.

С целью создания первичного эталона поляризационной модовой дисперсии, входящего в дальнейшем в состав Национального эталона единиц поляризационной модовой дисперсии в оптическом волокне необходимо освоить теоретическую базу, собрать установку измерения ПМД поляриметрическим методом и добиться высоких показателей точности измерения.

Целью данной магистерской диссертации является реализация поляризационного метода измерения поляризационной модовой дисперсии оптоволокна, разработка аппаратной части соответствующей установки и методики проведения измерений с её помощью.

Для достижения этой цели в работе следует решить следующие задачи:

- провести анализ существующих методов измерения поляризационной модовой дисперсии и способов их реализации;
- на основе проведенного анализа сделать выбор способа измерения поляризационной модовой дисперсии и средств его реализации;
- создать экспериментальную установку для реализации выбранного метода;
- разработать методику проведения измерений с помощью созданной установки;
- провести апробацию разработанной методики с помощью экспериментальной измерительной установки.

Положения, выносимые на защиту:

1. Создание экспериментальной установки для измерения поляризационной модовой дисперсии поляризационным методом.

2. Методика проведения измерений поляризационной модовой дисперсии поляризационным методом.
3. Экспериментальные результаты измерений поляризационной модовой дисперсии и сравнительные анализы факторов, влияющих на результаты измерений.

Научная новизна результатов заключается в том, что впервые в республике создана экспериментальная установка, позволяющая проводить измерения поляризационной модовой дисперсии в оптическом волокне поляризационным методом и методика проведения измерений с помощью данной установки. Получены экспериментальные данные по влиянию различных факторов на результат измерений.

Практическая значимость полученных результатов определяется тем, что данная установка вошла в состав Национального эталона единиц поляризационной модовой дисперсии в оптическом волокне.

Личный вклад магистранта в выполненную работу.

Работа полностью выполнена лично магистрантом на базе его экспериментальных исследований. Автором проведены работы по созданию экспериментальной установки для измерения поляризационной модовой дисперсии поляризационным методом, разработке методики проведения измерений на данной установке, получению экспериментальных результатов измерений поляризационной модовой дисперсии и сравнительному анализу факторов, влияющих на результаты измерений.

Вклад научного руководителя Гурского А. Л. Состоит в постановке задач исследований и обсуждении полученных результатов.

Соавторам опубликованных работ В. А. Длугуновичу, А. Ю. Жумарю, А. В. Исаевичу принадлежат результаты теоретических исследований, не вошедшие в диссертацию.

Результаты диссертации доложены на трёх международных научно-технических конференциях и опубликованы в сборниках трудов этих конференций. Данные о публикациях приведены в списке литературы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В **первой главе** приводятся результаты сравнительного анализа существующих схем схема для измерений ПМД на основе поляриметрического метода и интерферометрического.

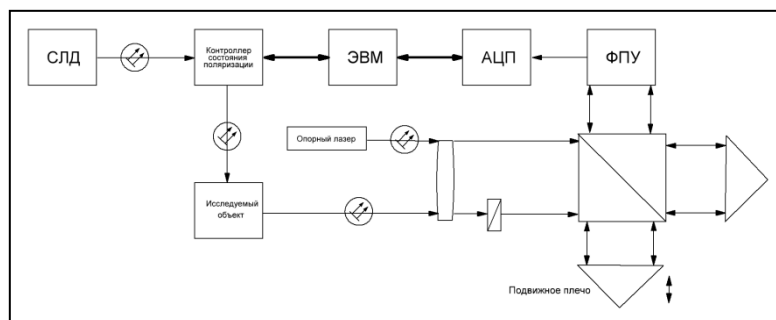


Рисунок 1 – Структурная схема комплекса для измерений ПМД на основе интерферометрического метода

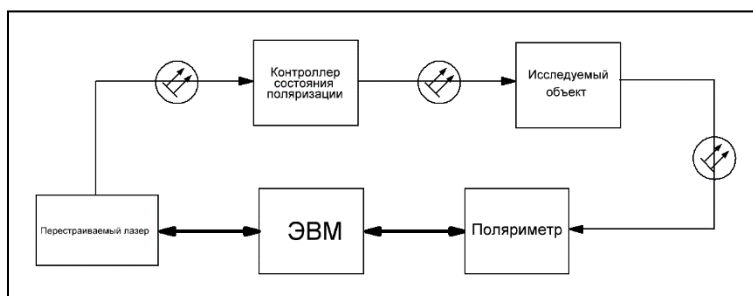


Рисунок 2 – Структурная схема комплекса для измерений ПМД на основе поляриметрического метода

Поляриметрический метод признан ведущими научными организациями самым точным методом для измерения ПМД. Данный метод позволяет получить наиболее полную информацию о ПМД исследуемого объекта, хотя может уступать по точности интерферометрическому при измерении ПМД телекоммуникационных устройств, имеющих сильную связь мод

Во **второй главе** отражены результаты подробного изучения оборудования для сбора измерительной установке. По итогу выбрана схема их компоновки.

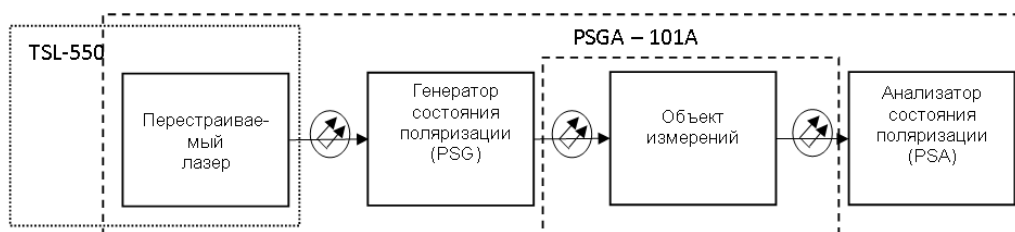


Рисунок 3 – Структурная схема первичного эталона единиц ПМД

В **третьей главе** приведена методика проведения испытаний на собранной установке и порядок обработки результатов этих испытаний. Приведены формулы расчёта неопределённости результата измерения ПМД.

Структура методики следующая:

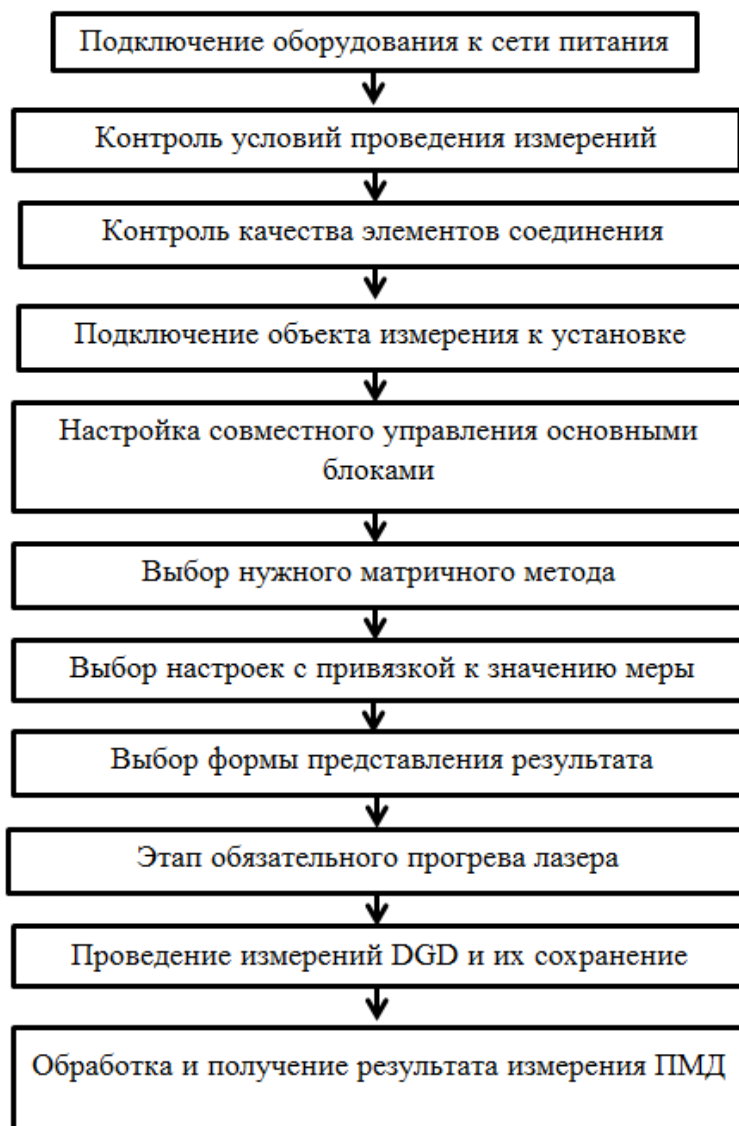


Рисунок 4 – Структура методики проведения измерений

В **четвертой главе** проведён анализ экспериментальных данных с учётом различных влияющих факторов. По результатам анализа экспериментальных данных можно сделать сразу несколько выводов.

Так касательно шага перестройки лазера можно заметить, что наиболее точным результат получается в случае, когда значение данного шага близко к верхней границе рассчитанной величине. Стоит отметить что в первую очередь это связано с ростом влияния перестройки источника и того факта, что

привязка в анализаторе происходит по постоянному значению частоты, а не длины волн было исследование температурного влияния

Немало важным было оценить влияние температур. Экспериментальные данные лишней раз подтвердили связь с сертификатами, выданными на составные части первичного эталона измерения ПМЛ в оптическом волокне. К примеру, на больших значениях ПМД приоритет отходит в сторону точности перестройки источника лазерного излучения, а значит и нормальная температура смещается ближе к 25 °С.

Что касается методов, то, несмотря на результаты экспериментов, отраженные на рисунке 4.5, выбор был сделан в пользу метода с использованием Матриц Джонса. Обусловлено это тем, что быстродействие данного метода намного выше, а условия при этом всегда можно контролировать.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итогом диссертации является реализация поляризационного метода измерения ПМД.

Была создана экспериментальная установка, при помощи которой проведено опробование и сравнение двух поляризационных методов измерения поляризационной модовой дисперсии – метод матриц Джонса и матриц Мюллера. Установка позволяет измерять значения единиц ПМД в диапазоне от 0,05 до 120 пс, со стандартная неопределенность воспроизведения единицы не более 0,04 пс.

По экспериментальным данным, полученным благодаря измерительной установке, был проведен сравнительный анализ различных факторов, влияющих на результат измерения единицы ПМД.

В декабре 2018 года установка вошла в состав эталона единиц поляризационной модовой дисперсии в ОВ и прошла метрологическую аттестацию.

Результаты работ прошли апробацию на 9-й международной научно-технической конференции «Квантовая электроника», 8-й международной школы-конференции «Современные проблемы физики» и 1-й международной научно-технической конференции «Опто-, микро- и СВЧ-электроника» и опубликованы в материалах этих конференций [16,17,18].

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

[1] Длугунович В. А., Жумарь А. Ю., Исаевич А. В., Механиков А. В., Создание национального эталона единицы поляризационной модовой дисперсии в оптическом волокне: материалы 9-й международной научно-технической конференции «Квантовая электроника» – Минск, 2017 – С. 136 – 137.

[2] Механиков А. В., Измерение поляризационной модовой дисперсии в оптическом волокне методами матриц Джонса и Мюллера: сборник трудов 8-й международной школы-конференции «Современные проблемы физики» – Минск, 2018 – С. 151 – 155.

[3] Длугунович В. А., Жумарь А. Ю., Механиков А. В., Матричные методы измерения поляризационной модовой дисперсии в оптическом волокне: сборник научных статей 1-й международной научно-технической конференции «Опто-, микро- и СВЧ-электроника» – Минск, 2018 – С. 106 – 109