

- 9.2.Ч.1 / Ю. Болотовский, Г. Таназлы // Силовая электроника. – 2004. – № 2. – С. 96-103.
 5. Болотовский Ю. Опыт моделирования систем силовой электроники в среде OrCAD 9.2.
 Ч.3 / Ю. Болотовский, Г. Таназлы // Силовая электроника. – 2006. – № 1. – С.88-92
 6. Андреев В.С. Теория нелинейных электрических цепей: Учебн. пособие для вузов. – Москва: Радио и связь, 1982. – 280 с.
 7. Разевиг В.Д. Схемотехническое моделирование с помощью Micro-Cap 7. – Москва: Горячая Линия-Телеком, 2003. – 368 с. – ISBN 5-93517-127-9
 8. Кузнецов Ю.В., Тронин Ю.В. Основы анализа линейных радиоэлектронных цепей (Временной анализ). – Москва: Издательство МАИ, 1992. – 60 с. – ISBN 5-7035-0250-0
 9. Сдвижков О.А. Математика на компьютере: Maple 8. – Москва: Солон-Пресс, 2003. – 176 с.
 10. Дьяконов В.П. Maple 8 в математике, физике и образовании. – Москва: Солон-Пресс, 2003. – 656 с.
 11. Разевиг В.Д. Система сквозного проектирования электронных устройств DesignLab 8.0. – Москва: Солон-Пресс, 1999. – 698 с. – ISBN 5-85954-082-5
 12. Петраков О. Создание аналоговых PSPICE-моделей радиоэлементов.Ч.1 // Схемотехника. – 2001. – № 2. – С. 36-37 с.
 13. Недолужко И. Модели мощных биполярных транзисторов и определение их параметров / И. Недолужко, А. Лебедев // Силовая электроника. – 2005. – № 1. – С. 12-17
 14. Златин И. Создание и редактирование моделей в OrCAD 15.7. Ч.1 // Компоненты и технологии. – 2007. – № 6. – С. 124-128
 15. Златин И. Создание и редактирование моделей в OrCAD 15.7. Ч.2 // Компоненты и технологии. – 2007. – № 7. – С. 149-154 с.

Надійшла до редакції
 22.11.2009 р.

УДК 389.638.011

С.В. БЕХ, О.О. КУШНІР

Хмельницький національний університет

МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИГНАЛІВ

В роботі розглянуто класифікацію методів вимірювання потужності електричних сигналів за різними класифікаційними ознаками. Наведені основні недоліки цих методів. Показана доцільність використання електротеплових методів для вимірювання активної та реактивної потужності гармонічних сигналів складної форми.

Classification of methods of measuring of power of electric signals is in-process considered on different classification signs. The basic lacks of these methods are resulted. Rotined expedience of the use electro-thermal methods for measuring of active and reactive power of harmonic signals of difficult form.

Ключові слова: вимірювання потужності, активна потужність, реактивна потужність.

Вступ

Характерною рисою науково-технічного прогресу є використання електроніки у всіх галузях народного господарства у всіх галузях народного господарства. Історія розвитку науки і техніки свідчить, що науково-технічний прогрес нерозривно пов'язаний з можливостями здійснення і вдосконалення вимірювань. З прогресом науки і техніки відбувається неухильне розширення сфери фізичних процесів та явищ, охоплених вимірюваннями. Безперервно зростає кількість та різноманіття вимірюваних фізичних величин, параметрів технологічних процесів, характеристик сигналів та кіл, ускладнюються методи отримання, обробки та використання вимірювальної інформації, зростає роль наукового приладобудування, автоматизації експерименту, мікромініатюризації сенсорів та приладів, створення засобів вимірювань з малим споживанням електричної енергії, з автоматичною корекцією похибок вимірювань і т.д.

Серед фізичних величин важливе місце займає електрична потужність, як сукупність властивостей, загальних в якісному відношенні для багатьох електричних кіл та енергетичних систем, їх станів і процесів, які в них протікають, але в кількісних відношеннях індивідуальних для кожного електричного кола, джерела та приймача енергії.

Об'єктом дослідження є існуючі методи вимірювання електричної потужності.

Результати та їх обговорення

Важливим енергетичним параметром електричних і радіотехнічних кіл, технічних засобів, систем, приладів, приймальних та передавальних пристроїв є електрична потужність. Протікання струму по електричному колу супроводжується споживанням енергії від джерела, а швидкість поступання цієї енергії характеризує потужність. Розрізняють активну, реактивну та повну потужність.

Існує велика кількість різноманітних методів вимірювання електричної потужності. Їх класифікують за різними класифікаційними ознаками (рис. 1) [1].

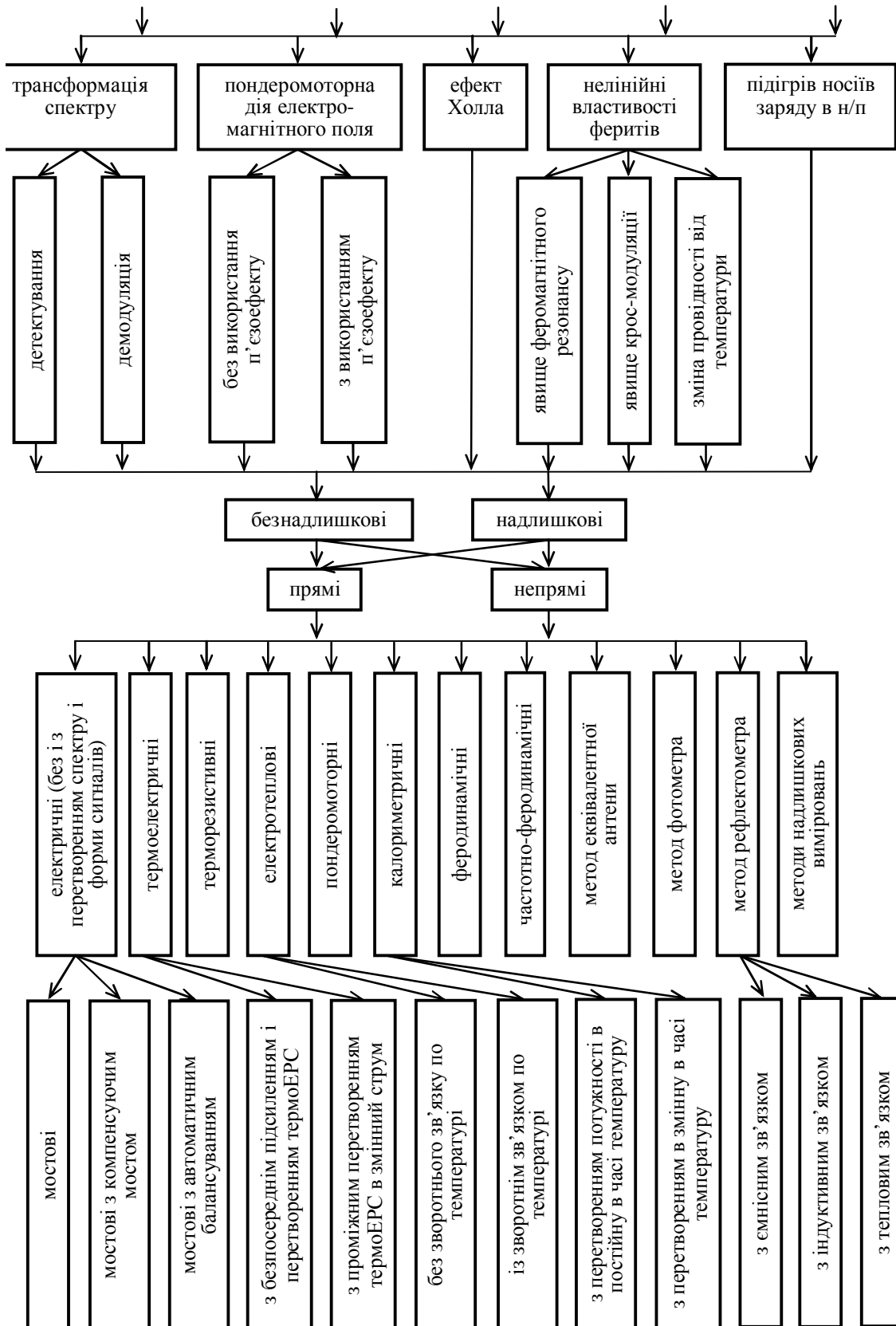


Рис. 1. Класифікація методів вимірювання електричної потужності. Закінчення

За наявністю числової інформації про опір навантаження методи вимірювання потужності поділяються на методи вимірювання при відомих або при невідомих значеннях активного чи реактивного (ємнісного або індуктивного) опору навантаження.

За характером навантаження розрізняють методи вимірювання активної, реактивної та повної потужності.

За видами навантаження розрізняють методи вимірювання потужності при ємнісному, індуктивному, резистивному, терморезистивному, термоелектричному та калориметричному

навантаженнях.

За видом перетворення енергії методи вимірювання потужності поділяються на методи, засновані на перетворення електричної енергії в енергію постійного чи змінного струму низької частоти, в теплову, в термоЕРС, в енергію магнітного поля та в механічну енергію.

За використовуваними явищами та ефектами перетворення електричної енергії можна виділити методи вимірювання потужності, що використовують: трансформацію частотного спектру електричних сигналів, явище перетворення енергії електромагнітного поля в механічну або пондеромоторну дію електромагнітного поля, ефект Холла, нелінійні властивості феритів (явище феромагнітного резонансу та зміна провідності при нагріві фериту струмами високої частоти), а також явище розігріву носіїв зарядів в напівпровідниках в електричному полі.

За характером рівності вимірювання методи вимірювання потужності поділяються на методи безнадлишкових та надлишкових вимірювань.

За способом визначення шуканої величини виділяють прямі (безпосереднього множення) та непрямі методи вимірювань (непрямого перемноження).

В сукупності даних суттєвих ознак всі методи вимірювання потужності поділяються на електричні методи вимірювання без перетворення спектру і форми сигналів (тобто на постійному струмі), з перетворенням спектру і форми сигналів (на змінному струмі), термоелектричні, терморезисторні, електротеплові, пондеромоторні, калориметричні, на ефекті Холла, феродинамічні, частотно-феродинамічні, методи еквівалентної антени, фотометричні, методи рефлектометра і методи надлишкових вимірювань потужності.

Методи вимірювання електричної потужності без перетворення спектру і форми сигналів, тобто на постійному струмі, – методи, засновані на вимірюванні діючих значень струму через навантаження і падіння напруги на ньому з наступним визначенням їх добутку [1].

Методи вимірювання потужності з перетворенням спектру і форми сигналів (на змінному струмі) – методи, засновані на проміжному нелінійному перетворенні характеру або енергії вихідних сигналів сенсора струму і сенсора напруги в сигнал (з врахуванням коефіцієнтів амплітуди і форми) або енергію іншого виду (механічну, теплову і т.д.) з наступним безпосереднім (прямим) чи непрямим перемноженням перетворених сигналів [1].

Термоелектричні методи – методи, засновані на нагріванні одного з спаїв термопари вимірюваної потужності з наступним вимірюванням термоЕРС, яка пропорційна квадрату амплітуди струму, що протікає через робочий спай [2]. Даний метод заснований на перетворенні електричної енергії в теплову. Існує два види термоелектричного методу: термопарний з прямим підгрівом та термоелементний. До переваг термопарних вимірювачів потужності слід віднести простоту індикаторних пристроїв, простоту калібрування та періодичної перевірки методом заміщення на постійному струмі чи струмі низької частоти та їх здатність витримувати без руйнування 50 % перевантаження [3]. Недоліками є низька чутливість, погане узгодження і нелінійна залежність напруги від потужності.

Терморезисторні методи – це методи вимірювання потужності, засновані на зміні провідності терморезистора в результаті дії теплової потужності. З іншої сторони, терморезисторні методи – це методи, засновані на нагріванні терморезистора вимірюваною потужністю з наступним вимірюванням зміни його опору (чи провідності). При вимірюваннях зазвичай використовують метод заміщення високочастотної потужності еквівалентною їй за тепловою дією відомою потужністю від джерела постійного струму. Розрізняють чотири різновиди даних методів: прямий терморезисторний метод вимірювання потужності з неповним врівноваженням, метод врівноваження, метод подвійного (робочого та компенсаційного) врівноваження та метод автобалансного врівноваження [2]. Основними недоліками терморезисторного методу порівняно з термопарним є значна залежність показників від температури навколишнього середовища і значне споживання потужності від джерел живлення [3].

Електротеплові методи вимірювання потужності гармонічних сигналів складної форми в широкому діапазоні низьких та високих частот – методи, засновані на формуванні електричних сигналів, пропорційних струму через навантаження і напрузі на ньому з наступним перетворенням енергії цих сигналів в теплову потужність, яка розсіюється на узгоджених за значенням опорів резистивних нагрівальних елементах. Про дійсне значення контролюючої потужності судять за різницею температур резистивних нагрівачів. Розрізняють електротеплові методи вимірювання потужності без і з зворотнім зв'язком по температурі. Відомі три основні різновиди електротеплового методу вимірювання потужності, які відрізняються різновидами сумо-різницевого способу перемноження електричних сигналів [1].

Пондеромоторний метод є абсолютним методом вимірювання потужності, який заснований на електромеханічній дії електромагнітної хвилі на стінки хвилеводу або на поміщені в нього відбиваючі пластинки, шляхом прямого вимірювання маси, довжини і часу. Недоліками методу є висока чутливість до вібрацій та складність механічної конструкції, залежність показників від частоти. Найповніше переваги пондеромоторного методу можуть бути реалізовані при вимірюванні великих рівнів потужності [3].

Суть калориметричного методу полягає у визначенні кількості тепла, що розсіюється на навантаженні, яке є поглинаючим опором в лінії передачі потужності. Цей метод заснований на перетворенні енергії електромагнітних НВЧ коливань, що поглинаються узгодженим

навантаженням, в теплову з наступним визначенням дійсного значення потужності за зміною якого-небудь параметру нагрівачого тіла (температури, видовження, електричного опору, кількості речовини, зміненого агрегатного стану та ін [4]). Дані методи відносяться до високочастотних методів вимірювання ВЧ і НВЧ потужності. Розрізняють калориметри проточного типу, статичні, з рідинним та сухим навантаженням. До недоліків даного методу можна віднести втрату теплоти на випромінювання, неповну теплоізоляцію калориметра, непостійність швидкості протікання рідини, неповне узгодження навантаження з лінією передачі енергії, втрату потужності та інші [5].

Виникнення різниці потенціалів у провідній пластині, по якій в подовжньому напрямі протікає електричний струм, при поміщенні її в магнітне поле, силові лінії якого перпендикулярні напрямку струму, називається ефектом Холла [3]. Перевагами методу вимірювання потужності на основі ефекту Холла є висока швидкість і нечутливість до ступеня узгодженості навантаження. До недоліків слід віднести низьку точність вимірювань, обумовлену появою у вихідному сигналі сенсора термоЕРС, що виникає за рахунок p - n -переходу в місці з'єднання металевих виводів до чутливого елементу датчика, а також залежність ЕРС Холла від модуля і фази коефіцієнта відбиття навантаження на НВЧ [6].

Феродинамічні і частотно-феродинамічні методи вимірювання – це методи вимірювання проходящої потужності у вузькому діапазоні частот, засновані на нагріванні чутливого елементу феритового резонатора проходящою потужністю і вимірювання температури нагріву безпосередньо, шляхом вимірювання провідності фериту на постійному струмі або за допомогою напівпровідникового термістора. За температурою нагрівання можна судити про поглинаючу потужність [2].

Метод еквівалента антени – це метод непрямого вимірювання вихідної потужності передавальних пристроїв, заснований на заміні реального навантаження його еквівалентом, який представляє собою безіндуктивний активний опір, рівний і точно відомий по значенню резонансного опору реальної антени, з наступним вимірюванням діючого значення струму крізь цей опір або падіння напруги на ньому і визначенням потужності [7].

Фотометричний метод вимірювання вихідної потужності передавальних пристроїв – метод вимірювань, заснований на порівнянні освітленості, що створюються світловими потоками від еквівалента антени, виконаного у вигляді лампочки з опором нитки, рівному опору еквівалента антени та ідентичної лампочки, що живиться від керуючого джерела постійного та змінного струму, а про вимірювану потужність судять по діючому значенню напруги живлення другої лампочки накалювання.

Метод рефлектометра – метод неперервного вимірювання потужності передавача, навантаженого на реальну антену, заснований на вимірюваннях струму падаючої, відбитої та результуючої хвиль в рефлектометрі з наступним визначенням діючих значень потужності падаючої, відбитої та результуючої хвиль [7].

Методи надлишкових вимірювань потужності – це методи, засновані на виконанні вимірювань рядів взаємопов'язаних між собою однорідних фізичних величин (струмів через навантаження або падіння напруг на навантаженні, опору навантаження або самої потужності), при незмінних і дискретно змінюваних на нормовані значення параметрах функції перетворення вимірювального перетворювача з наступним визначенням потужності згідно з рівнянням надлишкових вимірювань [1].

З-поміж усіх розглянутих методів найактуальнішим методом вимірювання активної та реактивної по-тужності гармонічного сигналу складної форми є електротепловий метод, який реалізує сумо-різницевий метод перемноження електричних сигналів. Його особливістю є те, що він заснований на формуванні електричних сигналів, пропорційних струму через навантаження і напрузі на ньому з наступним перетворенням енергії суми та різниці цих сигналів в теплову потужність, що розсіюється на узгоджених за значенням опорах резистивних нагрівальних елементів.

Висновки

Встановлено, що існує багато методів вимірювання потужності електричних сигналів. Різновиди цих методів залежать від тих класифікаційних ознак, що характеризують частотний діапазон, спосіб перемноження фізичних величин, особливості навантаження тощо.

Аналіз технічної літератури та патентів показав, що для вимірювання потужності сигналів складної форми найбільш перспективними є електротеплові методи.

Наведена класифікація спрощує процес визначення та вибору методів вимірювання потужності при вирішенні задач вимірювальної техніки.

Література

1. Кондратов В.Т., Богданова О.А. Методы измерения электрической мощности: основные понятия, определения, классификация – Киев, 2002. – 57 с.
2. Дворяшин Б.В., Кузнецов Л.И. Радиотехнические измерения. – М.: Советское радио, 1978. – 360 с.

3. Измерения в электронике: Справочник / В.А. Кузнецов, В.А. Долгов, В.М. Коневских и др.; Под ред. В.А. Кузнецова. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 512 с.: ил.
4. Спектр С.А. Электрические измерения физических величин: Методы измерений: Учеб. пособие для вузов. – Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 320 с.
5. Мирский Г.Я. Радиоэлектронные измерения. – М.: Радио и связь, 1986. – 440 с.
6. Кукуш В.Д. Электрорадиоизмерения. – М.: Радио и связь, 1985. – 368 с.
7. Терешин Г.М., Пышкина Т.Г. Электрорадиоизмерения. – М.: Энергия, 1975. – 470.

Надійшла до редакції
27.11.2009 р.

УДК 652.456

Ю.М. МАЗУР, І.В. ТРОЦИШИН

Хмельницький національний університет

ПРОБЛЕМИ ТА МОЖЛИВІ ШЛЯХИ ПОДОЛАННЯ ЗАГАСАННЯ СИГНАЛУ, ЗМЕНШЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ СИГНАЛУ ДЛЯ ІЄРАРХІЇ SDN

Стаття присвячена проблемам досягнення потрібних показників швидкості і довжини прольоту, а також представленні можливі шляхи подолання загасання сигналу та зменшення інтенсивності сигналу для ієрархії SDN.

The article is devoted to the problems of achievement of necessary indexes of speed and length of flight, and also presentation possible ways of overcoming of fading of signal and diminishing of intensity of signal for the hierarchy of SDN.

Ключові слова: загасання сигналу, інтенсивність сигналу.

Вступ. Експериментальні дослідження одноканальних оптичних систем передачі із швидкістю 160 Гбіт/с почалися на рубежі останніх століть. Охопити всі присвячені цьому публікації неможливо, проте розглянуті нижче джерела досить добре покривають період з 2000 по 2007 рік.

Однією з перших була робота 2000 років [17], де описувалися результати лабораторних модельних експериментів по передачі у форматі RZ потоку даних із швидкістю 160 Гбіт/с по стандартному ОВ G.652 на довжині хвилі 1550 нм. Досягнута дальність передачі склала 160 км. Приблизно цей же склад авторів через рік повідомив [18] про результати натурального експерименту по передачі потоку 160 Гбіт/с по такому ж волокну, але прокладеному в польових умовах, на тій же довжині хвилі. Досягнута довжина передачі склала 116 км., що на 27,5 % менше (це, мабуть, пояснюється погіршенням дисперсійних характеристик ОВ в реальних умовах). При цьому демодуляція проводилася шляхом демультимплексування потоку 160 Гбіт/с у форматі оптичного TDM (OTDM) в потоки 40 Гбіт/с у форматі електричного TDM (ETDM).

Велику довжину передачі (200 км.) вдалося досягти колективу експериментаторів в тому ж році [19], використовуючи аналогічну лабораторну модель, але з іншим типом волокна (NZDSF) [1]. Згодом (2003 р.), довжина передачі потоку 160 Гбіт/с сигналу по стандартному волокну G.652 була збільшена до 240 км [20], але вже завдяки методу управління дисперсією, заснованому на чергуванні ОВ з позитивною і негативною дисперсією.

Для швидкостей до 40 Гбіт/с проблеми загасання сигналу, зменшення інтенсивності сигналу, можна вважати, здолані, оскільки серійні мультимплексори рівня STM-256 вже експлуатуються на лініях зв'язку. Останні декілька років фахівці намагаються вирішити дані проблеми для наступної швидкості ієрархії SDN – 160 Мбіт/с (STM-1024) [1, 2].

Об'єктом дослідження є проблеми, які довелося долати для досягнення потрібних показників швидкості і довжини прольоту (або секції).

Предметом дослідження є загасання сигналу, викликане релесевським розсіюванням, і зменшення інтенсивності сигналу через хроматичну дисперсію (CD), а на високих швидкостях через поляризаційну модову дисперсію (PMD), нелінійні ефекти в оптичному волокні (ОВ) при великій потужності вхідного сигналу, потрібної для досягнення максимальної довжини прольоту/секції.

Результати дослідження.

Релесевське розсіювання [1] – це неминуче зло для оптичних систем на всіх швидкостях. Воно долається використанням третього вікна прозорості (діапазон довжин хвиль 1525-1575 нм) і сучасних ОВ, де отримано загасання порядку 0,17-0,18 дБ/км, а також оптичних підсилювачів (ОУ), що компенсують втрати на довжині прольоту/секції.

Хроматична дисперсія компенсується або вибором ОВ типа DSF з нульовою дисперсією на оптичній несучій частоті (1550 нм), або (якщо вибрано або прокладено ОВ іншого типу) вживанням модуля компенсації дисперсії (DCM) потрібного типу, що дозволяє компенсувати накопичену на довжині прольоту/секції дисперсію [1], або інших засобів компенсації дисперсії (наприклад, оптичних або електронних), або, нарешті, вживанням схеми ОВ з управлінням дисперсією [3].

Поляризаційна модова дисперсія поки що важко піддається компенсації [4], але її вплив