

Министерство образования и науки Украины
Харьковский национальный университет радиозлектроники
Академия наук прикладной радиозлектроники
ЗАО «НПК «Наука»
НТО РЭС Украины
НТО РЭС им. А.С. Попова РФ

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

**2-й Международной научной конференции
«ЭЛЕКТРОННАЯ КОМПОНЕНТНАЯ БАЗА.
СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ»**

30 сентября - 3 октября 2009г.

Харьков - Кацевели
2009

ПЕРЕДАЧА ВЫСОКОСТАБИЛЬНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ПО ВОЛОКОННО - ОПТИЧЕСКИМ ЛИНИЯМ СВЯЗИ

Мачехин Ю.П., Ключев П.Г.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники
61166, Харьков, пр. Ленина, 14, каф. ФОЭТ, тел. (057) 702-14-84

E-mail: yuri_m49@mail.ru

Optical frequency standards reach 10^{-15} – 10^{-16} level of frequency reproducibility. The optical fibres are planned to be used as means for transmitting signals on the huge distances and frequency comparisons of these signals. The physics of the optical information transfer by means of optical fiber leads to the lowering of the frequency stability. In this work the main reasons of frequency instability in optical fibres and some of the remedies how to overcome them are considered.

Введение

Оптические стандарты частоты достигают уровня воспроизводимости частоты 10^{-15} – 10^{-16} . Для передачи таких сигналов на большие расстояния и для сравнения частот этих сигналов планируется использование волоконных линий связи. Физические процессы передачи оптической информации в волоконно-оптических линиях связи (ВОЛС) приводят к снижению стабильности частоты излучения. В работе рассматриваются основные причины нестабильной частотной передачи в ВОЛС и возможные методы их устранения. В настоящем докладе не обсуждаются вопросы связи оптических часов, т.е. стабилизированных по частоте лазеров, с частотной гребенкой и привязки к ней стабилизированного по частоте лазера, работающего в диапазоне оптической связи.

Передача высокостабильных оптических сигналов по волоконно-оптическим линиям связи

Скорость, с которой происходит развитие оптических стандартов частоты, позволяет рассчитывать, что к 2010 году оптические часы будут реализованы со следующими характеристиками – относительная нестабильность частоты $\Delta f / f \approx 10^{-17}$, а воспроизводимость частоты излучения 10^{-15} – 10^{-16} . Это означает, что за один день они могут изменять хранимый интервал времени на одну пикосекунду (10^{-12} с).

Сигналы с эталонными частотами необходимо передавать на большие расстояния для практических нужд и для сличения стандартов частоты находящихся друг от друга на больших расстояниях. В настоящее время существует два способа передачи частотных сигналов, обеспечивающих сохранность их частотных характеристик – GPS радиочастотные каналы и оптические каналы волоконных систем передачи информации.

Использование GPS радиочастотных каналов для передачи оптических частот, по всей вероятности не будет использовано, поскольку возмущающие факторы так велики, что не позволяют передавать такие высокостабильные сигналы. Наиболее перспективным и реальным каналом передачи оптических частот являются оптические каналы связи, в первую очередь те, которые уже работают в коммерческих целях. Общая схема сличения оптических часов представлена на рис. 1

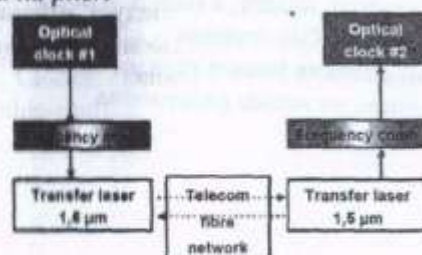


Рисунок 1 - Схема сличения оптических часов

Рассмотрим основные причины, препятствующие стабильному распространению сигналов по ВОЛС.

1) Потери вследствие вынужденного рассеяния Бриллюэна (ВРБ)

Вынужденное рассеяние света – это рассеяние света на индуцированных самой рассеиваемой волной возбуждениях среды (например, оптических и акустических фононах). Причина ВРБ – обратное воздействие света на рассеивающую среду, обусловленное ее оптической нелинейностью.

Вследствие брегговского рассеяния на периодической структуре кристаллической решетки происходит сдвиг частот

$$\nu_B = \nu_p - \nu_s = \frac{2nV_A}{\lambda_p}$$

где ν_p - частота излучения волны накачки,

ν_s - частота встречной волны Стокса, учитывающей сдвиг частот вследствие брегговского рассеяния,

V_A – скорость возбужденных акустических колебаний решетки,

λ_p - длина волны излучения накачки.

Для кремния $V_A \approx 6 \text{ km/s} \rightarrow \nu_B \approx 17.5 \text{ GHz}$, $\lambda_p = 1 \mu\text{m}$.

Вынужденное рассеяние Бриллюэна связано с низкоэнергетичными акустическими фононами. Бриллюэновский сдвиг частот, в частности для кремниевых волноводов, можно уменьшить легированием (например, редкоземельными металлами). Если ширина полосы частоты накачки $\Delta\nu_p$ больше или сравнима с бриллюэновской $\Delta\nu_B$, то максимальное значение коэффициент Бриллюэна g_B , который показывает вклад эффекта в стабильность частоты передаваемого оптического сигнала, значительно уменьшится. Поэтому ВРБ проявляется главным образом в узкополосных источниках:

$$g_{B \max} \cong \frac{\Delta\nu_B}{\Delta\nu_B + \Delta\nu_p}$$

2) Потери на поглощение при распространении

Распространяясь по оптоволокну, свет подвергается процессу поглощения. Существует несколько видов поглощения света, природа которых может быть различна в различных диапазонах длин волн.

На коротких волнах наблюдается преимущественно релеевское рассеяние. На длинных - фононное (решеточное) поглощение. Спектр фононного поглощения характеризуется рядом пиков поглощения в далекой инфракрасной области (1800 – 2800 нм). Значения частот излучения, поглощаемого колебаниями решетки, определяются совокупностью оптических и акустических ветвей колебаний. Это обуславливает сложную структуру спектра фононного поглощения. Интенсивность и положение полос не меняются с изменением концентрации примесей до 10^{24} м^{-3} , однако с понижением температуры их интенсивность падает, а положение не меняется. Дополнительные потери в оптоволокне происходят на ОН-группах - следует избегать их попадания в волокно. Активные (с примесями) волокна имеют гораздо меньшие потери, однако такие подходят для передачи сигналов лишь на малые расстояния.

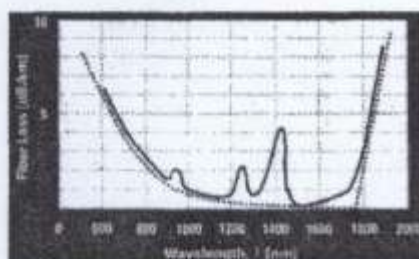


Рисунок 2 – Уровень потерь в оптоволокне для разных длин волн

Исходя из вышеизложенного, оказывается, что потери будут минимальными (<0.2 dB/km) в сверхчистых кремниевых волокнах на длине волны 1,5 мкм.

3) Потери вследствие вращения плоскости поляризации

Вследствие явления двойного лучепреломления происходит вращение плоскости поляризации и расщепление луча на два – обыкновенный и необыкновенный, время распространения которых различно. Для устранения этого эффекта предлагается использовать волокно с сохранением поляризации, так называемые «Polarization-preserving fibers (PM fibers)».

Вывод

1) Для уменьшения потерь вследствие ВРБ необходимо использовать «частотную расческу» или уменьшить входную мощность излучения, что позволит снизить влияние на акустические фононы в среде и улучшить частотные характеристики выходного излучения.

2) Для снижения потерь на рассеяние рекомендуется применять когерентное фазовое усиление.

3) Устранить флуктуации времени распространения сигнала по оптоволокну вследствие эффекта вращения плоскости поляризации можно путем использования волокна с сохранением поляризации.

4) Передача лазерного излучения через ВОЛС сопровождается расстройкой фазы сигнала. Для устранения расстройки фаз использовать фазовую когерентную автоподстройку частоты приблизительно каждые 200 км длины ВОЛС.

В работе проведено исследование волоконно-оптических линий связи с целью поиска оптимальных условий распространения высокостабильных лазерных сигналов, рассмотрены основные методы устранения нестабильности передачи оптических сигналов

Список литературы

1) Rüdiger Paschotta. Lectures on “Fundamentals of fiber lasers and amplifiers” at the Winter College on Fibre Optics, Fibre Lasers and Sensors, Feb. 12/12, Trieste, Italy, 2007
http://www.rp-photonics.com/CV_Paschotta.pdf

2) Andy Clarkson, Lectures on “High Power Fibre Lasers and Amplifiers” at the Winter College on Fibre Optics, Fibre Lasers and Sensors, Trieste, Italy, 2007

3) F.Riehle, Optical Clocks Based on Single Ions and Neutral Atoms.
<http://www.ifraf.org/IMG/pdf/Riehle-r.pdf>