

О КАЧЕСТВЕ ОПТИЧЕСКИХ КАНАЛОВ В СИСТЕМАХ DWDM

Миразимова Г.Х.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.15592687>

В статье приведены факторы, влияющие на качество передачи оптических каналов в системах с разделением по длине волны. Рассмотрены методы уменьшения этих факторов.

Мақолада тўлқин узунлиги бўйича ажратилган тизимларда оптик каналларни узатиш сифатига таъсир этувчи омиллар келтирилган. Бу омилларни камайтириш усуллари кўриб чиқилган.

Одним из самых важных показателей цифровых волоконно-оптических линий передачи (ЦВОЛП) является качество передаваемой информации. Качество передачи информации определяет способность системы различать (восстанавливать) передаваемые сигналы с заданной достоверностью, качество определяется величиной коэффициента ошибок *Кош* (*BER*), т.е. отношением сигнал/шум. На качество передачи информации воздействуют, шумы, при этом принятый цифровой сигнал может существенно отличаться от переданного, т.е. вместо фактически переданного двоичного символа может быть принят альтернативный двоичный символ вместо «1» (импульса оптического излучения) фиксируется «0» (отсутствие излучения и наоборот).

Причин возникновения ошибок много, но главными из них являются шумы оборудования ЦВОЛП и дисперсионные явления, приводящие к межсимвольным помехам и нелинейные эффекты в оптическом волокне.

Основные шумы в системах WDM возникают за счет источников излучения, приемников, усилителей и от нелинейности ОВ. Мешающие факторы ухудшают качество передачи сигналов и могут являться основной причиной отказа ЦВОЛП.

Исследование влияния этих шумовых факторов позволят решить вопросы обеспечения качества передачи оптических сигналов и в последующем могут быть использованы для научно – обоснованного проектирования, изготовления и внедрения перспективных систем ВОСП-СР, что определяет актуальность данного направления исследования.

В связи в данной статье поставлена задача исследования качества волоконно-оптических линий передачи с разделением по длине волны излучения.



При увеличении числа каналов и при уменьшении шага между каналами, а также при увеличении мощности вводимого в оптическое волокно резко увеличивается влияние нелинейного эффекта ЧВС.

В ВОСП-ВР вследствие зависимости показателя преломления ОВ от электрического поля возникают *нелинейные эффекты*. Главными дестабилизирующими фактором является нелинейный эффект как *четырёхволновое смещение* (ЧВС).

В результате параметрического усиления, когда интенсивность лазерного сигнала достигает критического уровня и когда ОВ играет пассивную роль среды распространения, возникает четырехволновое смещение, генерация гармоник, в которой несколько оптических волн взаимодействуют благодаря нелинейному отклику возбуждаемых ими электронов внешних оболочек.

Четырёхволновое смещение ЧВС (FWM - Four Wave Mixing) приводит к появлению новых мешающих гармоник, часть из них попадает в рабочие каналы системы. От соответствия мешающих гармоник с частотами рабочего канала появляются *перекрёстные помехи*. Эти мешающие факторы ухудшают качество передачи сигналов и могут полностью вывести из строя систему WDM. Суть ЧВС (с позиций квантовой механики) заключается в том, что если происходит взаимодействие четырех линейно поляризованных вдоль оси x оптических волн с частотами $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ и ω_4 , то может наблюдаться уничтожение фотонов одной частоты и рождение фотонов других частот при сохранении энергии и импульса. Это может произойти по двум схемам:

- передача энергии трех фотонов четвертому, генерируемому на частоте $\omega_4 = \omega_1 + \omega_2 + \omega_3$;

- передача энергии двух фотонов двум новым, генерируемым на частотах $\omega_3 + \omega_4 = \omega_1 + \omega_2$.

Формально эти схемы можно свести в одну: $\omega_4 = \omega_1 + \omega_2 \pm \omega_3$, обобщив ее для случая взаимодействия трех линейно поляризованных произвольных волн $\omega_i, \omega_j, \omega_k$ представляемого в виде

$$\omega_{ijk} = \omega_i + \omega_j \pm \omega_k. \quad (1)$$

ЧВС может возникать даже в одноканальных системах между сигналами рабочего канала и составляющими усиленной спонтанной эмиссии оптических усилителей, а также между основной и боковой моды.



Анализ показал что, в ВОСП-ВР влияние ЧВС особенно разрушительно, т.к. уровень ЧВС чувствителен к системным характеристикам; увеличению мощности в канале; увеличению числа каналов; уменьшению шага между каналами, что обуславливает необходимость исследования их влияния на уровень помех и соотношения сигнал/шум.

Однако в работах не приводится четкая методика определения мощности помех в спектральном канале ВОСП, что не позволяет точно рассчитать оптическое отношение сигнал/помеха (OSNR) в канале и сравнить эту величину с действующими нормами.

В связи с этим попытаемся разработать методики *определение числа продуктов, попадающих в канал.*

Например, две несущие в системе WDM ω_1 и ω_2 дают, взаимодействуя, две боковые гармоники: стоксову - $2\omega_1 - \omega_2$ и антистоксову - $2\omega_2 - \omega_1$ (рис. 1а). Эти составляющие распространяются совместно с двумя исходными, отбирая у них часть энергии.

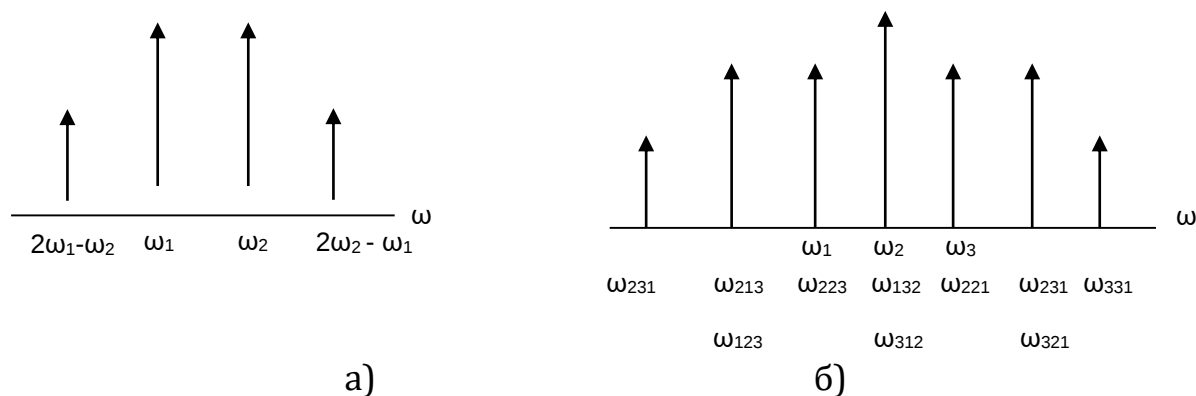


Рис – 1. Вид спектра несущих при наличии ЧВС :

а- спектр ЧВС при двух несущих, б- спектр ЧВС при трех несущих

В случае трех совместно распространяющихся волн фазовый синхронизм легче получить для схемы взаимодействия вида $\omega_{ijk} = \omega_i + \omega_j - \omega_k$, где $i \neq k, j \neq k$. В результате, формально происходит генерация двенадцати гармоник, а именно: $\omega_{112}, \omega_{113}, \omega_{123}, \omega_{132}, \omega_{213}, \omega_{221}, \omega_{223}, \omega_{231}, \omega_{312}, \omega_{321}, \omega_{331}, \omega_{332}$, а фактически семи гармоник, так как некоторые частоты гармоник совпадают: $\omega_{213} = \omega_{123} = \omega_{112}, \omega_{132} = \omega_{312}, \omega_{231} = \omega_{321} = \omega_{332}$ (рис. 1,б) .



Общее число продуктов нелинейности, согласно, определяется из соотношения:

$$N_{\Sigma} = N^2(N - 1)/2 \tag{2}$$

Например, для восьмиканальной системы ($N=8$) $N_{\Sigma} = 224$, а при $N= 16$ число продуктов $N_{\Sigma} = 1920$.

Увеличение шага между оптическими несущими и хроматическая дисперсия уменьшают процесс ЧВС, за счёт разрушения фазовых соотношений между взаимодействующими волнами. Для уменьшения влияние нелинейных эффектов также можно использовать неравномерный шаг или увеличенный шаг между каналами.

Наиболее большой нелинейный эффект ЧВС имеют системы работающие на волокне G.653, но расположение частоты рабочего канала вблизи нуля дисперсии может привести к существенно короткой длине линии (десятки километров). Поэтому использование волокна G.653 в системах DWDM не рекомендуется. Влияние ЧВС меньше в волокнах G.655, особенно в волокнах с большой эффективной площадью. В стандартных волокнах G.652 ЧВС еще меньше. Однако использование волокон G.652 в системах DWDM не целесообразно, потому что большая дисперсия сокращает длину регенерационного участка.

С появлением ВОСП-ВР, уровни сигналов возросли стократно. При объединении выхода лазерного передатчика с ОУ нужно было генерировать уровни сигналов порядка +20 дБм, чтобы компенсировать потери, вызванные использованием пассивных элементов ВОСП-ВР. Эти высокие уровни сигналов обострили многие причины ухудшений, так или иначе приводящие к деградации сигнала и характеристик в целом.

Поэтому необходимо уменьшить суммарную мощность, вводимое в волокно.

По результатам можно сделать следующие выводы:

- ВОСП-ВР – развивающаяся, разветвленная технология сложная и многопараметрическая система, на которую влияют множество внутренних и внешних дестабилизирующих факторов воздействующих на качество передачи сигналов;
- Главными дестабилизирующими факторами влияющими на качество передачи сигналов в ВОСП-ВР являются: влияние ЧВС, помехи в соседних каналах и ограничения суммарной мощности светового сигнала вводимой в оптическое волокно, отклонением отношения сигнал/шум;



- В ВОСП-ВР влияние ЧВС особенно разрушительно т.к. уровень ЧВС чувствителен к системным характеристикам.

Основными путями обеспечения требуемого качества передачи оптических сигналов в ВОСП-ВР являются:

- Оптимизация передаваемой мощности и расположение усилителей.
- Рациональное распределение межканальных интервалов и количество длин волн и их стабилизация;

- Наиболее большой нелинейный эффект ЧВС имеют системы работающие на волокне G.653, но расположение частоты рабочего канала вблизи нуля дисперсии может привести к существенно короткой длине линии (десятки километров). Поэтому использование волокна G.653 в системах DWDM не рекомендуется.

- В стандартных волокнах G.652 ЧВС очень меньше. Однако использование волокон G.652 в системах DWDM не целесообразно, потому что большая дисперсия сокращает длину регенерационного участка.

- Влияние ЧВС меньше в волокнах G.655, особенно в волокнах с большой эффективной площадью.

- Дисперсия, с одной стороны, должна быть достаточно малой, так чтобы она не вызывала уширения импульсов. С другой стороны, для подавления перекрестных помех, возникающих из-за нелинейных эффектов, дисперсия должна быть достаточно большой, поэтому оптимальной для ВОСП-ВР дисперсией следует признать волокна с ненулевой смещенной дисперсией G.655;

- Воздействие ЧВС резко увеличивается: а) при уменьшении частотного интервала до 50 ГГц; б) при увеличении мощности, вводимой в волокно;

- Для нейтрализации эффекта ЧВС можно использовать неравномерные промежутки между каналами ВОСП-ВР;

- Необходимо ограничить суммарную мощность, вводимую в волокно на уровень мощности в 23 дБ.

