

КАК ОПРЕДЕЛИТЬ ТРЕБУЕМУЮ ДЛИНУ ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА ДЛЯ КОМПЕНСАЦИИ ДИСПЕРСИИ

© 2012 г. Э.Л. ПОРТНОВ, А.К. ГРИГОРЬЯН

Московский технический университет связи и информатики

Для новых систем передачи и новых волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) с использованием оптического волокна с ненулевой смещенной дисперсией (ОВНСД) по рекомендации Международного союза электросвязи (МСЭ) G-655 для скоростей передачи 40 Гбит/с и выше ограничение допустимой длины передачи по хроматической дисперсии составляе 30 км и меньше, тогда как по затуханию сигнала длина может быть получена 60-100 км.

Однако из-за нелинейных эффектов и возможной модуляции в передатчике, полная компенсация не всегда оптимальна. В случае использования ОВКД для дискретной компенсации в усилителе, общим недостатком ОВКЛ является увеличение затухания оптического сигнала. Добавочное затухание должно быть скомпенсировано добавочным усилением оптического усилителя (ОУ), что приводит к деградации отношения сигнал/шум и увеличению стоимости системы в целом. Для преодоления этой проблемы ОВКД важно иметь как можно более значительную отрицательную дисперсию и низкое затухание.

Один из наиболее эффективных вариантов компенсации, обеспечивающий подавление как хроматической, так и поляризационной модовой дисперсии, это адаптивная компенсация, которая наиболее просто реализуется поканально на электрическом уровне. В случае применения оборудования мультиплексирования с электронной компенсацией дисперсии выбор типа ОВ и допустимое значение хроматической дисперсии на РУ определяется техническими условиями на оборудование. Основным недостатком такого подход в том, что для каждого типа мультиплексора нужна своя схема электронной компенсации дисперсии. Скорости передачи, на которых они могут быть применены, ограничены. Это узкополосный способ компенсации – только для одной оптической несущей. С увеличением числа оптических каналов системы суммарные затраты на его реализацию возрастают.

Наиболее распространенный способ компенсации хроматической дисперсии на оптическом уровне – применение компенсирующих ОВ. В основе данного способа – последовательное соединение ОВ, хроматическая дисперсия которых имеет противоположные знаки. Известно два варианта реализации данного способа – включение вместе с ОУ модулей компенсации дисперсии на компенсирующих ОВ и последовательное чередование в линии строительных длин с ОВ, хроматическая дисперсия которых имеет противоположные знаки. Взаиморасположение ОВ с положительной и отрицательной хроматической дисперсией определяется схемой компенсации. Схема компенсации периодический повторяется на длине РУ с интервалом, который называют периодом компенсации – L_0 и который выбирается из условия $nL_c = mL_{y0}$. При включении модулей компенсации вместе с ОУ $L_c = L_{y0}$.

Поэтому для компенсации хроматической дисперсии для получения длины по затуханию 60-100 км используются специальные волокна с отрицательным значением хроматической дисперсии. Эти волокна имеют ступенчатый профиль показателя преломления и для длины волны 1550 нм увеличенный показатель преломления за счет

увеличенной концентрации GeO₂ и малый диаметр сердцевины ОВ, что приводит к увеличению затухания за счет релеевского рассеяния до 0,5 дБ/км.

Известно, что

$$D_{\text{общ}} = D_{\text{об}} L_{\text{об}} + D_{\text{обкд}} L_{\text{обкд}}$$

$$A_{\text{общ}} = a_{\text{об}} L_{\text{об}} + a_{\text{обкд}} L_{\text{обкд}}$$

В данных выражениях D-параметр хроматической дисперсии ОВ оптического волокна, ОВКД – волокна для компенсации дисперсии, а L – соответствующие длины, A – параметр коэффициента затухания для соответствующих оптических волокон и длин.

Необходимо, чтобы для компенсации дисперсии $D_{\text{общ}} = 0$.

Мера ОВКД $FOM = -D_{\text{обкд}}/A_{\text{обкд}}$ и $A_{\text{общ}} = (A_{\text{об}} + D_{\text{обкд}}/FOM)L_{\text{об}}$

Для компенсации наклона необходимо, чтобы

$$S = S_{\text{об}} L_{\text{об}} + S_{\text{обкд}} L_{\text{обкд}} \quad R D_{\text{об}} S_{\text{об}} = R D_{\text{обкд}} S_{\text{обкд}} \quad \text{где} \quad R D S = S/D$$

S – наклон характеристики хроматической дисперсии.

Для компенсации дисперсии используется ОВ со ступенчатым профилем с модовым полем на $\lambda=1,55$ мкм, диаметра 5 мкм с простой кварцевой оболочкой (1-ая – глубоко депрессированная; вторая – увеличенный показатель преломления, и третья – стандартный показатель преломления). Большой коэффициент Δ способствует созданию высоко отрицательной дисперсии, но приводит к увеличению затухания. Выбор диаметра сердцевины должен быть компромиссным. Часто нормированная частота $V=1$. Уменьшение диаметра сердцевины ОВ, увеличивает глубину отрицательной дисперсии, но увеличивает чувствительность к радиусу изгиба. Глубоко депрессивное покрытие уменьшает дисперсию и является необходимым для получения отрицательного наклона дисперсии при $\lambda=1,55$ мкм. Увеличение показателя преломления кольцо уменьшает чувствительность к радиусу, но увеличивает длину волны отсечки. Особенно LP02 длина волны отсечки увеличивается и будет обычно выше, чем для LP11. Три типа ОВКД реализованы: стандартное ОВ с максимумом FOM, широкополосное ОВКД с полной компенсацией наклона дисперсии стандартного ОВ и большим наклоном ОВКД для ОВ с ненулевой смешанной дисперсией. Результаты приведены в Табл. 1.

Таблица 1

Типовые результаты для $\lambda=1,55$ мкм

	Стандарт ОВКД	Широкополосное ОВКД	Высокий наклон дисперсии ОВКД
RDS 1/нм	0,0022	0,0035	0,0067
FOM пс/нм*dP	200	190	150
α на 1,55 мкм dB/km	0,5	0,5	0,68
D на 1,55 мкм пс/нм*км	-100	-95	-100
d модового поля	5,2	5,1	4,5

Данный подход широко известен, и не вдаваясь подробно в данную технологию решения компенсации хроматической дисперсии можно использовать для высокоскоростных систем передачи следующий подход, основанный на дисперсии групповых скоростей:

$$\beta_2 = \beta_{2ob} L_{ob} + \beta_{2obkd} L_{obkd}$$

На основании данного решения, используя решения для дисперсионной длины можно определить длину по затуханию с учетом допустимых потерь на хроматическую дисперсию с учетом компенсации дисперсии на усилительном участке:

$$L_{\alpha доп} = 0,7T^2b d^2m / 8(\beta_{2ob} L_{ob} + \beta_{2obkd} L_{obkd}) / (L_{ob} + L_{obkd})$$

Воспользовавшись данным выражением, определим необходимую длину оптического волокна для компенсации дисперсии при минимальных потерях в пределах 1 дБ:

$$L_{obkd} = L_{\alpha об} ((0,7 T^2b d^2m / 8L_{\alpha об}) - \beta_{2ob}) / (\beta_{2obkd} - (0,7 T^2b d^2m / 8L_{\alpha об}))$$

В результате при выборе необходимой длины по затуханию можно достаточно просто найти необходимую длину по оптическому волокну, компенсирующего дисперсию на усилительном участке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Портнов Э.Л.* «Принципы построения первичных сетей и оптические кабельные линии связи». – М.: Горячая линия-Телеком, 2009, 545 с.
2. *Agrawal G.P.* «Fiber-optic communication systems» . John wiley and sons N.Y. 1997, 560.