

Заключение

В данной статье был описан эффективный алгоритм визуализации процедурно генерируемого в реальном времени ландшафта. Он прост в реализации и практически не занимает времени процессора, что является немаловажным фактором при разработке требовательных к процессору приложений и компьютерных игр. Также этот алгоритм обеспечивает высокую производительность на видеокартах средней мощности.

Список используемых источников

1. Бессмельцев М. Отсечение по пирамиде видимости в OpenGL [Электронный ресурс] // Работа с OpenGL. [2004]. URL: <http://pmg.org.ru/nehe/nehex2.htm> (дата обращения 11.06.2016).
2. Noise [Электронный ресурс] // Shadertoy Wikia: [сайт]. URL: <http://shadertoy.wikia.com/wiki/Noise> (дата обращения 27.05.2016).
3. Framebuffer Object [Электронный ресурс] // OpenGL Wiki: [сайт]. [2015]. URL: https://www.opengl.org/wiki/Framebuffer_Object (дата обращения 03.06.2016).
4. Framebuffer Object Examples [Электронный ресурс] // OpenGL Wiki: [сайт]. Электрон. текстовые дан. [2013]. URL: https://www.opengl.org/wiki/Framebuffer_Object (дата обращения 28.05.2016).

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ДЛИНЫ РЕГЕНЕРАЦИОННОГО УЧАСТКА ВОЛС С КОМПЕНСАТОРАМИ ДИСПЕРСИИ

М.С. Былина, С.С. Попова

Хроматическая дисперсия является одним из основных факторов, ограничивающих длину регенерационного участка. В докладе рассмотрены методы компенсации хроматической дисперсии и предложены методики расчета длины регенерационного участка ВОЛС с компенсаторами дисперсии на основе специального волокна DCF и волоконной брэгговской решетки с переменным периодом.

Ключевые слова: длина регенерационного участка, хроматическая дисперсия, компенсация дисперсии, волокно для компенсации дисперсии, волоконная брэгговская решетка.

METHODS OF CALCULATING THE LENGTH OF REGENERATION AREA OFTL WITH DISPERSION COMPENSATORS

Bylina M., Popova S.

Chromatic dispersion is one of the main factors limiting the length of the regeneration area. The report examines the methods of compensation of chromatic dispersion and the proposed method of calculating the length of the regeneration area OFTL a dispersion compensator based on a special DCF fiber and fiber Bragg grating with a variable period.

Keywords: regenerator section length, chromatic dispersion, dispersion compensation fiber for dispersion compensation fiber Bragg grating.

Известно, что длина регенерационного участка (РУ) волоконно-оптической линии связи (ВОЛС) может ограничиваться одним из двух факторов – затуханием и хроматической дисперсией. В [1] предлагаются выражения для расчета длин РУ l_{pe} и l_{pd} , ограниченных затуханием и хроматической дисперсией соответственно:

$$l_{pe}(\lambda) = (p_{out} - p_n - 2 \cdot a_p - a_d - a_{df} - a_{ez}) / (\alpha(\lambda) + a_n / l_{sd}), \quad (1)$$

$$l_{pd}(\lambda) = \frac{\pi \cdot c \cdot K^2 \cdot t_T^2}{2 \cdot \lambda^2 \cdot D(\lambda)} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (K_1^2 - 1)}{2 + (\pi \cdot \Delta \nu \cdot K \cdot t_T)^2}}, \quad (2)$$

где p_{out} – уровень сигнала на выходе передатчика, p_n – уровень чувствительности приемника, a_p и a_n – средние потери в разъёмном и неразъёмном (сварном) соединении оптических волокон (ОВ) соответственно, a_d и a_{df} – дополнительные затухания, вызванные уширением импульса из-за хроматической дисперсии и АЧХ фотоприёмного устройства, a_{ez} – энергетический запас, α и D – коэффициент затухания и хроматическая дисперсия стандартного ОВ, l_{sd} – строительная длина оптического кабеля, λ – длина волны, K – коэффициент, равный отношению ширины гауссовского импульса на выходе регенератора к ширине тактового интервала t_T , $\Delta \nu$ – ширина гауссовского спектра излучения источника на уровне $1/e$, c – скорость света в вакууме, K_1 – коэффициент, учитывающий допустимое дисперсионное расширение импульса и равный отношению ширины импульса на входе регенератора к ширине импульса на выходе регенератора.

Результирующая длина РУ определяется по выражению:

$$l_p(\lambda) = \min[l_{pe}(\lambda), l_{pd}(\lambda)]. \quad (3)$$

Если $l_{pd}(\lambda) < l_{pe}(\lambda)$, длина РУ ограничена хроматической дисперсией и ее можно увеличить путем компенсации дисперсии.

Компенсация хроматической дисперсии может осуществляться как оптическими, так и электронными методами. Наиболее часто применяется линейный оптический метод компенсации хроматической дисперсии, который заключается в том, что в ВОЛС между участками телекоммуникационного оптического волокна (ОВ) устанавливаются устройства, хроматическая дисперсия которых равна по величине и противоположна по знаку дисперсии предшествующего им участка телекоммуникационного ОВ. В большинстве случаев суммарная дисперсия ВОЛС в рабочем диапазоне длин волн положительна, поэтому для ее компенсации используются устройства с отрицательной дисперсией. В докладе рассмотрены два вида таких устройств – на основе специального ОВ для компенсации дисперсии (*Dispersion Compensation Fiber*, DCF) и на основе волоконной брэгговской дифракционной решетки (*Fiber Bragg Grating*, FBG) с переменным периодом.

Рассмотренные компенсаторы являются пассивными устройствами, могут включаться в ВОЛС как на оконечных пунктах, так и между ними, и осуществляют сосредоточенную компенсацию хроматической дисперсии. Схемы включения компенсаторов в ВОЛС представлены на рисунке 1.

На рисунке 2 представлены зависимости коэффициента затухания α_{DCF} и хроматической дисперсии D_{DCF} ОВ DCF, предназначенного для компенсации хроматической дисперсии в стандартном ОВ, от длины волны λ [2]. Для проведения дальнейших расчетов была проведена аппроксимация $\alpha_{DCF}(\lambda)$ и $D_{DCF}(\lambda)$ следующими выражениями:

$$\alpha_{DCF}(\lambda) = \chi/\lambda^4 + g_{inf} \cdot \Delta\lambda_{inf} / (2 \cdot \pi \cdot [(\lambda - \lambda_{inf})^2 + (\Delta\lambda_{inf}/2)^2]), \quad (4)$$

$$D_{DCF}(\lambda) = S_0 (\lambda - \lambda_0^4/\lambda^3) / 4. \quad (5)$$

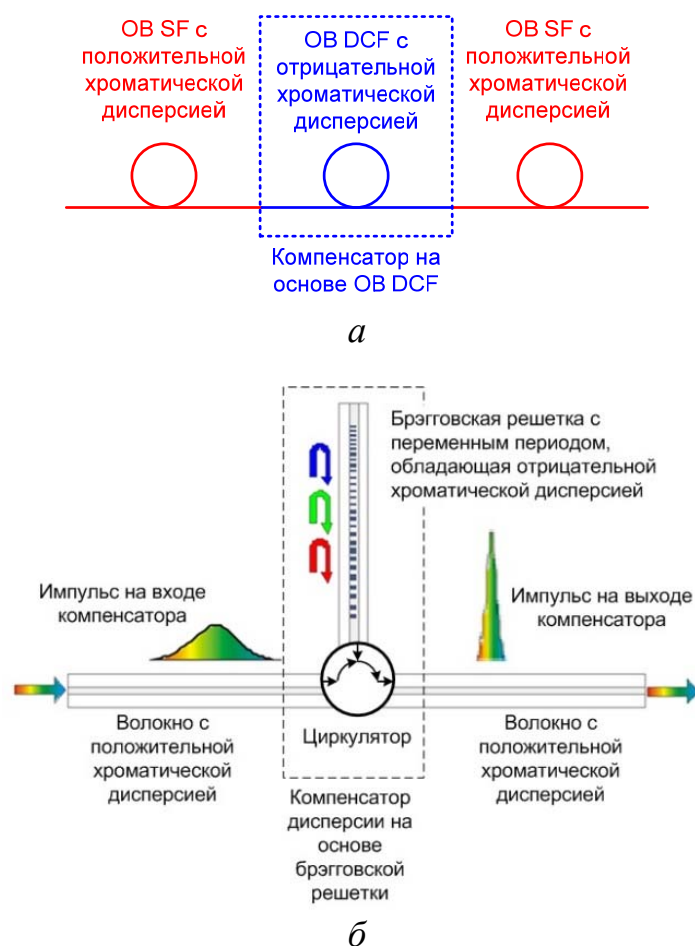


Рис. 1. Схемы включения компенсаторов дисперсии на основе ОВ DCF (а) и FBG (б)

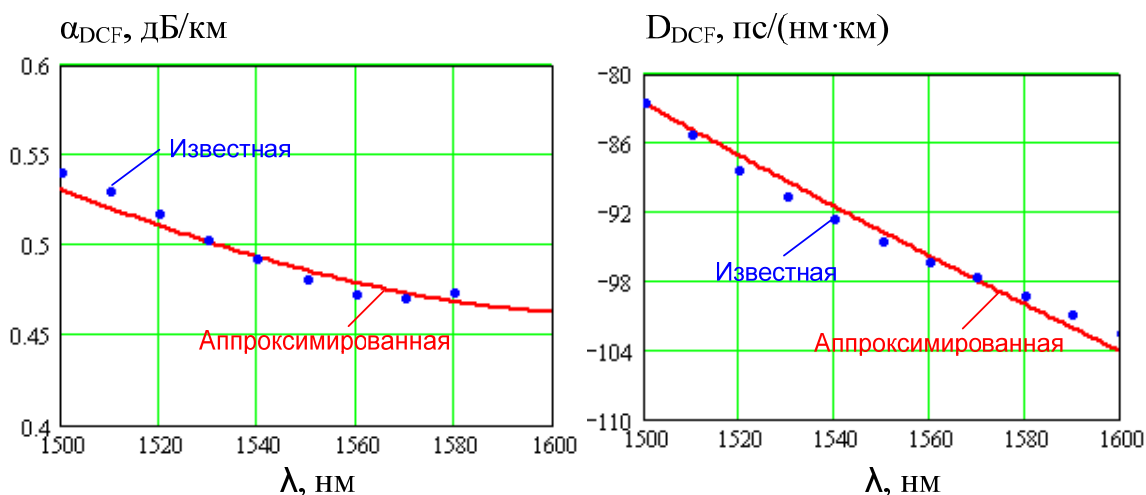


Рис. 2. Спектральные зависимости коэффициента затухания и хроматической дисперсии волокна DCF

Значения входящих в (1) и (2) параметров, полученных в результате аппроксимации, представлены в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. Параметры для расчета $\alpha_{DCF}(\lambda)$ и $D_{DCF}(\lambda)$

Параметр	Значение
Коэффициент релеевского рассеяния χ , дБ·мкм ⁴ /км	2,469
Резонансная длина волны пика поглощения λ_{inf} , мкм	1,800
Ширина пика поглощения $\Delta\lambda_{inf}$, нм	1,0
Амплитуда пика поглощения g_{inf} , дБ·мкм/км	20
Длина волны нулевой хроматической дисперсии λ_0 , мкм	1,100
Наклон дисперсионной характеристики S_0 на длине волны нулевой дисперсии, пс·нм ² /км	-0,39

FBG с переменным периодом также обладает отрицательной хроматической дисперсией. Период решетки должен меняться от Λ_{min} до Λ_{max} , которые определяются выражениями:

$$\Lambda_{min} = \frac{\lambda - \Delta\lambda/2}{2n_{eff}}, \quad \Lambda_{max} = \frac{\lambda + \Delta\lambda/2}{2n_{eff}}, \quad (6)$$

где n_{eff} – эффективный показатель преломления, $\Delta\lambda$ – ширина спектра оптического сигнала. Отрицательную хроматическую дисперсию D_G решетки можно рассчитать по выражению:

$$D_G = 2n_{eff} / (c \cdot \Delta\lambda_{chirp}), \quad (7)$$

где $\Delta\lambda_{chirp}$ – ширина диапазона, в котором работает решетка.

В ВОЛС без оптических усилителей полная компенсация хроматической дисперсии, при которой уширение импульса на выходе РУ равно нулю, нецелесообразна, так как вносимые компенсатором потери приводят к уменьшению длины РУ по затуханию. В [3] предлагается считать оптимальным такой компенсатор, при установке которого длины регенерационных участков по дисперсии и затуханию будут одинаковыми.

При использовании оптимального компенсатора на основе ОВ DCF длину РУ и соответствующую длину компенсирующего ОВ можно рассчитать по выражениям:

$$l_p(\lambda) = \frac{A \cdot \alpha_{DCF}(\lambda) - B \cdot D_{DCF}(\lambda)}{D_{SF}(\lambda) \cdot \alpha_{DCF}(\lambda) - \left(\alpha_{SF}(\lambda) + \frac{a_n}{l_{sd}} \right) \cdot D_{DCF}(\lambda)}, \quad (8)$$

$$l_{DCF} = \frac{D_{SF}(\lambda) \cdot B - A \cdot \left(\alpha_{SF}(\lambda) + \frac{a_n}{l_{sd}} \right)}{D_{SF}(\lambda) \cdot \alpha_{DCF}(\lambda) - \left(\alpha_{SF}(\lambda) + \frac{a_{nc}}{l_{sd}} \right) \cdot D_{DCF}(\lambda)}, \quad (9)$$

где $A = \frac{\pi c K^2 t_T^2}{2\lambda^2} \sqrt{\frac{2 \cdot (K_1^2 - 1)}{2 + (\pi \Delta \nu K t_T)^2}}$, $B = p_{out} - p_n - 2a_p - a_d - a_{df} - a_{ez} - 2a_{nk}$, α_{SF} и D_{SF} – коэффициент затухания и хроматическая дисперсия стандартного ОВ, a_{nk} – потери в соединении стандартного ОВ и ОВ DCF.

При использовании оптимального компенсатора на основе FBG длину РУ и соответствующую длину FBG можно рассчитать по выражению:

$$l_p(\lambda) = \frac{A \cdot \alpha_{SF}(\lambda) - B_1 \cdot D_G(\lambda)}{D_{SF}(\lambda) \cdot \alpha_{SF}(\lambda) - \left(\alpha_{SF}(\lambda) + \frac{a_{nc}}{l_{sd}} \right) \cdot D_G(\lambda)}, \quad (10)$$

$$l_G = \frac{L_{sf} \cdot D_{sf}(\lambda)}{D_g(\lambda)}, \quad (11)$$

где $B_1 = p_{out} - p_n - 2a_p - a_d - a_{df} - a_{ez} - 4a_{pk} - a_c$, a_{pk} – потери в соединениях между циркулятором и ОВ, a_c – потери в циркуляторе.

По выражениям (1)–(11) были проведены расчеты длин РУ без использования компенсации дисперсии и с использованием оптимальной компенсации и параметров компенсаторов дисперсии. Расчеты проведены при следующих параметрах: $\lambda = 1550$ нм, $p_{out} = 10$ дБм, $l_{sd} = 6$ км, $a_p = 0,2$ дБ, $a_n = 0,05$ дБ, $a_{nk} = 0,8$ дБ, $a_{ez} = 3$ дБ, $a_d = 0,67$ дБ, $a_{df} = 0,67$ дБ, $K = 0,55$, $K_1 = 1,17$, $a_{pk} = 0,2$ дБ, $a_c = 1$ дБ, $n_{eff} = 1,44$. Значения p_n для различных систем передачи приведены в таблице 2. Результаты расчетов представлены в таблице 3.

ТАБЛИЦА 2. Значения чувствительности фотоприемных устройств

Система передачи	STM-1	STM-4	STM-16	STM-64
Скорость передачи, Гбит/с	0,155	0,622	2,5	10
p_n , дБм	-34	-28	-24,5	-21

ТАБЛИЦА 3. Результаты расчета длины регенерационного участка при использовании DCF волокна

Ширина спектра источника $\Delta\nu$, ГГц	Система передачи	Параметры компенсаторов		Длина регенерационного участка, км		
		на основе DCF	на основе FBG	Без компенсации	С компенсатором на основе DCF	С компенсатором на основе FBG
		Длина OB DCF, км	Длина FBG, мм			
100	STM-1	9,2	244,79	88,1	135,6	164,06
	STM-4	16,1	205,58	22,0	105,0	137,78
	STM-16	16,6	182,76	5,5	89,5	122,45
	STM-64	15,1	160,63	1,4	77,0	107,12
10	STM-1	0	0	179,5	Компенсация не нужна	
	STM-4	0	0	152,1	Компенсация не нужна	
	STM-16	8,8	18,83	53,5	99,1	122,45
	STM-64	13,6	22,6	10,6	80,5	107,12
1	STM-1	0	0	179,5	Компенсация не нужна	
	STM-4	0	0	152,1	Компенсация не нужна	
	STM-16	0	0	136,1	Компенсация не нужна	
	STM-64	12,6	16,06	16,6	81,5	107,12

По результатам расчетов можно сделать следующие выводы: 1) с увеличением ширины спектра излучения источника и скорости передачи длина РУ уменьшается; 2) использование компенсаторов дисперсии позволяет существенно увеличить длину регенерационного участка; 3) при компенсации дисперсии в узком диапазоне длин волн эффективность компенсаторов на основе FBG выше, чем компенсаторов на основе OB DCF.

Список используемых источников

1. Глаголев С.Ф. Особенности проектирования современных высокоскоростных волоконно-оптических линий передачи // Фотон-экспресс. 2006. № 6.

2. Листвин А.В., Листвин В.Н., Швырков Д.В. Оптические волокна для линий связи. М.: ЛЕСАарт, 2003. 288 с.

3. Былина М.С., Глаголев С.Ф., Кузнецова Н.С., Рык О.Н. Компенсация дисперсии в оптических линейных трактах с использованием DWDM // Фотон-Экспресс. 2009. № 7.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ МОДУЛЯЦИИ ВЧ-КОЛЕБАНИЙ В КЛЮЧЕВЫХ ГЕНЕРАТОРАХ

А.А. Ганбаев, В.А. Филин

Рассмотрены методы модуляции ВЧ-колебаний в ключевых генераторах и усилителях мощности. Проанализированы варианты получения модулированного ВЧ-радиосигнала на малом уровне мощности с последующим усилением, а также формирования модулированного сигнала в мощном выходном каскаде ключевого генератора. Приведена схема управляемого ключевого генератора на основе резонансного инвертора тока, обеспечивающего высокий КПД и линейную модуляционную характеристику.

Ключевые слова: широтно-импульсная модуляция, амплитудная модуляция, КПД.

ANALYSIS METHODS MODULATION OF HF-OSCILLATIONS IN KEY GENERATORS

Ganbaev A., Filin V.

Methods for modulating the RF oscillation in key generators and power amplifiers are discussed. Options for obtaining a modulated RF radio on low power level and then increased, and the formation of modulated signal in the power output stage is key generator are analyzed. The scheme managed key generator based on the resonance current of the inverter, providing high efficiency and linear modulation characteristics are shown.

Keywords: pulse width modulation, amplitude modulation, efficiency.

В данной работе предпринята попытка проанализировать существующие методы управления ВЧ-колебаниями в ключевых генераторах и усилителях мощности. Интерес к этой тематике за последнее десятилетие заметно возрос в связи с состоявшимся технологическим прорывом в области полупроводниковых приборов. Создание транзисторов с высокой подвижностью электронов на основе арсенида и нитрида галлия открыло возможность практической реализации высокоэффективных ключевых режимов усиления колебаний на частотах до 3 ГГц. В этой связи применение высокоэффективных ключевых режимов генерирования и усиления и колебаний в диапазонах ВЧ и СВЧ (от десятков мегагерц до единиц гигагерц) приобретает первостепенно значение для широких классов радиотехнических устройств.

В зарубежных исследованиях по ВЧ ключевым транзисторным усилителям мощности в последние годы вновь проявлен интерес к применению радиочастотной широтно-импульсной модуляции (РЧ-ШИМ). Идея такого метода управления ВЧ-колебаниями была опубликована в 1973 году американским