

НЕСТАБИЛЬНОСТИ В ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЯХ ЗАДЕРЖКИ

В.А.Кузнецов, В.Н.Цуканов, М.Я.Яковлев, Я.И.Капитанов

Рассмотрены неустойчивости, возникающие в волоконно-оптических линиях задержки. Показано, что высокая стабильность времени задержки при широкой полосе пропускания для высокочастотных сигналов обеспечивается температурной стабильностью оптического волокна и совместной неустойчивостью задержек фотоприемника и источника оптического излучения.

Instability in fiber-optic delay line. V.A.Kuznetsov, V.N.Tsukanov, M.Ya.Yakovlev, Ya.I.Kapitanov. Are considered instability in fiber-optic delay line. It is shown, that high stability of time of a delay at a wide pass-band for high-frequency signals is provided with temperature stability of an optical fiber and joint instability of delays of a photodetector and a source of optical signal.

1. ВВЕДЕНИЕ

Для повышения технических характеристик бортовых комплексов и систем, а также оснащения бортовой аппаратуры высокостабильными линиями задержки предлагается использовать волоконно-оптические линии задержки (ВОЛЗ). Одним из применений ВОЛЗ является аппаратура радиоэлектронной борьбы (РЭБ). При этом ВОЛЗ обеспечивают зеркальное отражение сигналов через определенное заданное время задержки в широком спектре частот с высокой стабильностью задержки и минимальными искажениями сигналов.

Высокая стабильность времени задержки с помощью ВОЛЗ достигается даже при воздействии внешних дестабилизирующих факторов. В качестве устройства задержки в ВОЛЗ используется отрезок оптического волокна, заданной длины.

Волоконно-оптические линии задержки можно условно разделить на пассивные (ВОЛЗ) без оптоэлектронных приемо-передающих модулей и активные (ВОЛЗА) с установленными приемо-передающими модулями.

2. НЕСТАБИЛЬНОСТИ В ВОЛЗ

ВОЛЗ - предназначены для задержки оптического сигнала на заданное время, используя для задержки оптическое волокно.

Применяемые для изготовления оптических волокон материалы, обладают высокой термостабильностью, что обеспечивает повышенную стабильность времени задержки. Показатель преломления сердцевин оптического волокна зависит от температуры и деформаций в соответствии с формулой [1, стр. 44]:

$$\frac{\Delta n}{n} = \frac{1}{n} \left(\frac{\partial n}{\partial T} \right)_p \Delta T + \frac{\delta n}{n}, \quad (1)$$

где n – показатель преломления сердцевин оптического волокна;

Δn – изменение показателя преломления;

$\left(\frac{\partial n}{\partial T} \right)_p$ – частная производная по

температуре, характеризующая изменение плотности кварцевого стекла;

δn – изменение показателя преломления за счет фотоупругости.

При температурном режиме эксплуатации волоконно-оптической линии задержки от -20 до $+70^\circ\text{C}$, и при времени задержки сигнала до 10 мкс изменение времени задержки за счет температурных флуктуаций показателя преломления будет составлять $-0,6$ нс.

На рис. 1 представлена ВОЛЗ со стандартным оптическим волокном длиной 400 м. Такая длина оптического волокна обеспечивает время задержки 2 мкс.

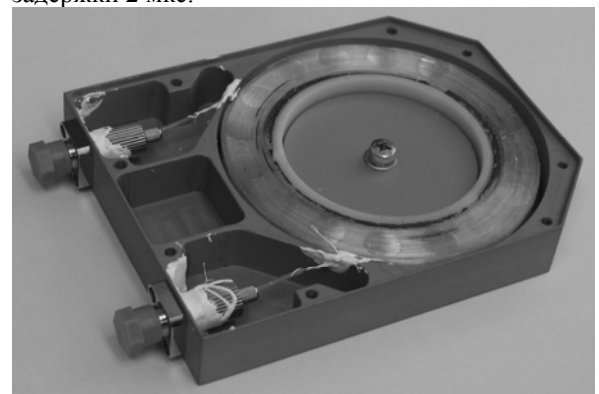


Рис. 1. Общий вид базовой конструкции ВОЛЗ

Основными элементами любой ВОЛЗ является катушка с оптическим волокном, помещенная в защитный корпус, закрывающийся сверху крышкой и две розетки, прикрепленные к входному и выходному концу катушки с оптическим волокном.

Для минимизации величины оптических потерь, возникающих на границе воздух-волокно, применяют розетки типа FC/APC. При этом величина потерь на отражение снижается до 60 дБ.

В ВОЛЗ искажение передаваемого сигнала возможно из-за непостоянства характеристик оптического волокна вдоль всей катушки и при возникновении локальных неоднородностей. Чтобы этого избежать необходимо, чтобы намотка катушки осуществлялась с постоянным заданным натяжением.

Свой вклад в искажение формы передаваемого сигнала вносят дисперсионные характеристики оптического волокна и нелинейные эффекты.

При малой длине и не высокой частоте передачи влиянием дисперсии можно пренебречь. Для задержки сигнала на более длительное время используется оптическое волокно большей длины. В таком случае для уменьшения влияния дисперсии могут быть использованы компенсаторы дисперсии.

Так за счет дисперсии происходит уширение входного импульса $\Delta t_{вх}$ на выходе линии задержки. Конечная ширина импульса на выходе линии задержки выражается через его начальную ширину $\Delta t_{вх}$ соотношением:

$$\Delta t = \sqrt{\Delta t_{вх}^2 + \Delta t_{ушир}^2} \quad (2)$$

где $\Delta t_{ушир}$ – уширение импульса.

Уширение импульсов вызывает искажения передаваемых сигналов, поэтому важно минимизировать этот параметр.

Для каждого вида дисперсии рассчитывается свое уширение импульса, которое зависит от коэффициента дисперсии. Так для расчета уширения импульса за счет хроматической дисперсии используют формулу:

$$\Delta t_{ушир}^{хд} = D(\lambda) \cdot L \cdot \Delta \lambda \quad (3)$$

где $D(\lambda)$ – коэффициент хроматической дисперсии,

L – длина волокна,

$\Delta \lambda$ – ширина спектра сигнала.

При использовании оптического волокна Corning SMF-28e коэффициент хроматической дисперсии будет составлять величину для длины волны $1200 \text{ нм} \leq \lambda \leq 1625 \text{ нм}$:

$$D(\lambda) = \frac{S_0}{4} \left[\lambda - \frac{\lambda_0^4}{\lambda^3} \right], \quad (4)$$

где λ_0 – длина волны нулевой дисперсии ($\lambda_0 = 1317 \text{ нм}$),

S_0 – наклон кривой дисперсии в точке обращения в ноль ($S_0 = 0,086 \text{ пс}/(\text{нм}^2 \text{ км})$).

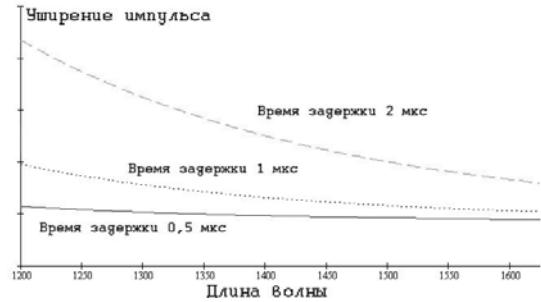


Рис.2. Зависимость конечной ширины импульса на выходе линии задержки от λ для различного времени задержки

Для расчета уширения импульса за счет поляризационной модовой дисперсии используют формулу:

$$\Delta t_{ушир}^{ПМД} = D_{ПМД} \sqrt{L} \quad (5)$$

где $D_{ПМД}$ – коэффициент поляризационной модовой дисперсии.

При использовании оптического волокна Corning SMF-28e коэффициент поляризационной модовой дисперсии будет составлять величину $\leq 0,08 \text{ пс}/\text{км}^{1/2}$.

2. НЕСТАБИЛЬНОСТИ В ВОЛЗА

ВОЛЗА предназначены для задержки высокочастотных сигналов на заданное время. ВОЛЗА состоят из следующих основных узлов:

- преобразователя радиосигнала в оптический сигнал (передающего оптоэлектронного модуля),
- волоконно-оптического элемента задержки оптического сигнала (ВОЛЗ),
- преобразователя оптического сигнала в радиосигнал (приемного оптоэлектронного модуля).

На рис. 3 представлена ВОЛЗА на основе ВОЛЗ с приемным и передающим оптическими модулями, рассчитанная на время задержки сигнала до 2 мкс.



Рис.3. Общий вид базовой конструкции ВОЛЗА, рассчитанной на задержку сигнала до 2 мкс

Ограничение времени задержки 2 мкс связано с габаритными размерами применяемой ВОЛЗ. Для создания линии задержки, рассчитанной на большее время задержки сигнала, необходимо создать другую конструкцию модуля ВОЛЗ.

На рисунке 4 показана конструкция ВОЛЗА, обеспечивающая время задержки сигнала в 125 мкс.



Рис.4. Общий вид конструкции ВОЛЗА, рассчитанной на задержку сигнала 125 мкс

В случае использования ВОЛЗА к нестабильности задержки сигнала в оптическом волокне добавится нестабильность задержек передающего и приемного оптоэлектронных модулей. При этом совместная нестабильность задержек фотоприемника (фотодиода с трансимпедансным усилителем) Δt_{ϕ} и полупроводникового источника оптического излучения $\Delta t_{\text{ли}}$ составляет величину не более 1 нс [2].

На ширину полосы пропускания такой ВОЛЗА влияют только технические характеристики применяемых приемо-передающих модулей. Реально достижимая полоса пропускания фотоприемника 1 ГГц.

Интенсивность передаваемого в оптическое волокно излучения влияет на изменение показателя преломления волокна, что приводит к изменению ширины спектра и ширины импульса. Но можно подобрать такую мощность передаваемого излучения, а также передаваемую форму импульса, что импульс будет распространяться в волокне, не меняя своей формы.

Параметр ошибок по битам зависит от энергетического запаса волоконно-оптической линии связи, количественно выражаемого в виде отношения сигнал/шум (SNR). Связь между SNR и BER можно получить численно. Согласно [3] соотношение между SNR и BER можно вычислить, используя Гауссову статистику и исходя из стандартного интегрального нормального распределения:

$$f(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-z^2 / 2\right). \quad (6)$$

Отсюда находим зависимость BER от SNR:

$$BER = 1 - F_{\text{norm}}\left(\frac{\text{SNR}}{2}\right), \quad (7)$$

где функция $F_{\text{norm}}(z) = \int_{-\infty}^z f(z) dz$ возвращает нормальное интегральное распределение вероятностей для значения z .

График зависимости BER от SNR при отсутствии помехоустойчивого кодирования представлен на рис. 5.

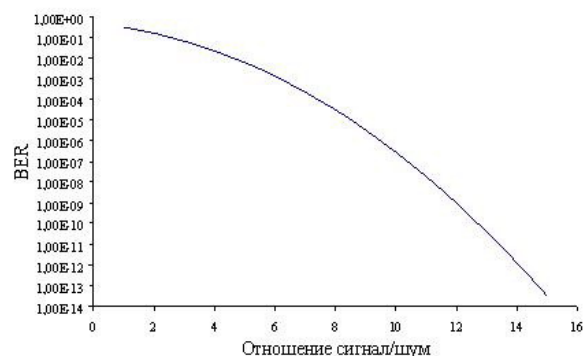


Рис.5. График зависимости BER от SNR.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Должным образом, подобрав параметры конструктивных элементов волоконно-оптической линии задержки можно добиться высокой стабильности времени задержки, широкой полосы пропускания в различных устройствах, используемых в жестких условиях эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волоконно-оптические датчики / Т.Окиси и др., под ред. Т.Окиси: пер. с япон.- Л.: Энергоатомиздат, 1990.
2. Информация ЗАО "Авангард-оптон" (г. Санкт-Петербург, Кондратьевский пр. д. 72) о ВОКС (волоконно-оптическом канале синхронизации) с сайта www.avangard.org/uploaded/voks.pdf.
3. Д. Редд, "Особенности измерения коэффициента ошибок", Lightwave Russian Edition, №1, 2005.