

б) Поверхность ОК смещена на величину Δx . Условие для лучей, отраженных от поверхности ОК, исходя из (4) представляет собой:

$$|x_n - \Delta x| \leq \frac{a}{2} \text{ и } \sqrt{x_n^2 + y_n^2} \leq \frac{r}{2} \quad (5)$$

в) Поверхность ОК повернута на угол γ . В этом случае условие для падающих лучей:

$$|y_n| \leq kx_n + m \text{ и } \sqrt{x_n^2 + y_n^2} \leq \frac{r}{2} \quad (6)$$

При этом $m = \frac{a}{2} \cdot \cos \gamma$ и $k = tg \gamma$, тогда выражение для отраженных лучей (6) принимает вид:

$$|y_n| \leq tg(\gamma) \cdot x_n + \frac{a}{2} \cdot \cos(\gamma) \text{ и } \sqrt{x_n^2 + y_n^2} \leq \frac{r}{2}$$

г) Поверхность ОК смещена по оси Ох на величину Δx и повернута на угол γ . Условие для отраженных лучей:

$$|y_n| \leq tg(\gamma) \cdot (x_n - \Delta x) + \frac{a}{2} \cdot \cos(\gamma) \text{ и } \sqrt{x_n^2 + y_n^2} \leq \frac{r}{2}$$

Таким образом, получены выражения, описывающие граничные условия для линейных и угловых перемещений торца лопатки ГТД, позволяющие в дальнейшем оценить влияние перемещений ОК на суммарный поток принятого ППК излучения.

Список использованных источников

1. Данилин, С.А. Оптоэлектронный дискретно-фазовый преобразователь локальных параметров формы криволинейных отражающих поверхностей [Текст]: дис. ... канд. тех. наук: 05.13.05/ Данилин Сергей Александрович. – М., 2023. – 168с.

УДК 620.179.18

ОГРАНИЧЕНИЯ СВЯЗАННЫЕ С ДЛИНОЙ ЗОНДИРОВАНИЯ И ПЕРЕХОДОМ ФАЗЫ ЧЕРЕЗ π

А.В. Григорьев, А.Л. Михайлов, Г.П. Охоткин

Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары

Ключевые слова: механические колебания, рефлектометр фОТDR, оптоволоконный датчик, рэлеевское рассеяние, длина зондирования.

В настоящее время одним из наиболее перспективных методов оценки состояния высоковольтных кабельных линий является оптоволоконная система контроля активности и технологического мониторинга, основанная на использовании когерентного рефлектометра фОТDR [1]. Рефлектометр фОТDR может работать в двух режимах: амплитудном (одноимпульсном) и фазовом (двухимпульсном) [2].

В амплитудном режиме работы рефлектометра оптическое волокно зондируется одиночными оптическими импульсами [1] и при этом рассматриваются только амплитудные рефлектограммы – зависимости от времени тока фотодетектора рефлектометра, пропорционального интенсивности излучения $P(t) \sim |E(t)|^2$. По амплитудным рефлектограммам можно определять место внешнего воздействия, однако нелинейность отклика не позволяет корректно оценить растяжение волокна. В фазовом режиме работы рефлектометра оптическое волокно зондируется двумя и более оптическими импульсами, манипулированными по фазе, что позволяет вычислить разность фаз между сигналами, формируемыми в результате обратного рассеяния первого и второго импульсов [1, 2]. По измеренному значению относительной фазы оценивают величину растяжения оптического волокна.

Целью настоящей работы является оценка величины фазового сдвига оптического сигнала, вызванного растяжением и сжатием оптического волокна в пределах измерительного участка, определяемого длительностью зондирующего импульса, при использовании оптического волокна в системах электроэнергетики.

Детерминированное переменное внешнее воздействие, возникающее в объектах электроэнергетики, рассматриваемое в виде продольных гармонических колебаний, вызывающее упругие деформации оптического волокна вдоль оптической оси, определяется выражением:

$$\varepsilon(z) = \varepsilon_A \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda_A} z - \varphi\right), \quad (1)$$

где ε_A – амплитуда деформации; $\lambda_A = v_A/f_A$ – длина волны механических колебаний; $v_A = 2500$ м/с – скорость распространения колебаний в волокне; z – координата вдоль оптической оси.

Воздействие, задаваемое выражением (1) деформирует волокно, смещает рэлеевские центры рассеяния, расположенные случайно в пределах разрешаемого участка волокна и изменяет фазы отражённых оптических сигналов. Конечная длина участка зондирования L приводит к формированию в приёмном устройстве рефлектометра суммарного сигнала с фазовым набегом, определяемым выражением:

$$\Phi(\lambda_A) = \frac{4\pi n \xi}{\lambda} \left[\frac{\varepsilon_A \lambda_A}{2\pi} \left(-\cos\left(\frac{2\pi L}{\lambda_A} - \varphi\right) + \cos(\varphi) \right) \right], \quad (2)$$

где длина волны оптического сигнала $\lambda = 1550$ нм; показатель преломления оптического волокна $n = 1,475$; коэффициент удлинения сигнала вдоль волокна $\xi = 0,79$; относительная деформация волокна $\varepsilon_A = 14$ нСт; начальная фаза $\varphi = 0$.

Из выражения (2) можно получить зависимость $\Phi(f_A)$, которую можно представить графически (рисунок 1).

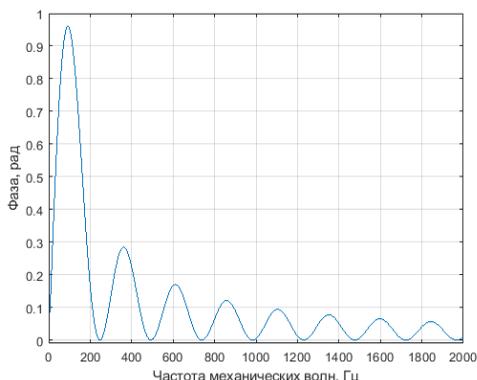


Рисунок 1 – Зависимость фазы Φ от частоты деформации f_A

Колебательный характер зависимости $\Phi(f_A)$ с нулями фазы на определённых частотах говорит о сложении в противофазе прямых и отражённых оптических волн в пределах участка волокна длиной L . Появление нулей связано с соотношением длины зондирования L и длины волны механических колебаний λ_A , при которых аргумент косинуса становится равным $(2k + 1)\frac{\pi}{2}$, где $k = 0, 1, 2, \dots$

Максимальное значение величины деформации, вызванное устройством, равномерно растягивающим участок волокна длины L , при котором фаза изменяется на $\pm\pi$ равно

$$\varepsilon_{max} = \frac{\lambda \Delta \Phi_{max}}{4\pi L \xi n} = 3,37 \text{ пСт.}$$

В амплитудном методе рефлектометрии, в случае сложного воздействия, появление слепых длин волн не оказывает существенного воздействия на работу устройств мониторинга объектов электроэнергетики, так как в их работе учитывается узкий частотный диапазон определяемый полосой пропускания фильтра на входе обработки сигнала рефлектометра. Ограничения, связанные с фазой в данном случае задают требование к параметрам фильтра и частоте дискретизации сигнала. Фазовый режим работы рефлектометра в связи с возникновением неоднозначности требует применения алгоритмов восстановления фазы (unwrapping).

Работа выполнена при поддержке Фонда развития науки ЧГУ им. И.Н. Ульянова. В статью включены результаты, полученные в рамках реализации гранта (№28-23).

Список использованных источников

1. Hartog, A.H. An Introduction to Distributed Optical Fibre Sensors (1st ed.). CRC Press. – 2017. – 472 p.
2. Бенгальский, Д. М. Работа когерентного рефлектометра в условиях сильного локального воздействия на волокно / Д. М. Бенгальский, Д. Р. Харасов, Э.

А. Фомиряков, С. П. Никитин, О. Е. Наний, В. Н. Трещиков, // Квантовая электроника. – 2021. – т. 51, № 2. – С. 175–183.

Григорьев Анатолий Владимирович, ст. преподаватель каф. радиотехники и радиотехнических систем, grigoryev_anat@mail.ru.

Михайлов Анатолий Леонидович, к. физ.-мат. наук, доцент каф. радиотехники и радиотехнических систем, mal@nextmail.ru.

Охоткин Григорий Петрович, д. т. н., доцент, декан факультета радиоэлектроники и автоматики, elius@list.ru.

УДК 620.179.18

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ (АКУСТИЧЕСКИХ, ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ, ТЕПЛОВЫХ) И ОТКЛИКОВ СИСТЕМЫ ОПТОВОЛОКОННЫХ ДАТЧИКОВ

А.В. Григорьев, А.Л. Михайлов, Г.П. Охоткин

Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары

Ключевые слова: механические воздействия, оптоволоконный датчик, рэлеевское рассеяние, высоковольтные кабельные линии, экспериментальная установка.

Определение эксплуатационных параметров высоковольтных кабельных линий, выявление точек чрезмерного нагрева или повреждения, а также прогнозирование процессов и явлений, связанных с эксплуатацией, являются важными и сложными задачами при разработке комплексов диагностики высоковольтных кабельных линий.

В настоящее время одним из наиболее перспективным методом оценки состояния высоковольтных кабельных линий является – оптоволоконная система контроля активности и технологического мониторинга, основанная на использовании когерентного (фазочувствительного) импульсного оптического рефлектометра на основе эффекта рэлеевского рассеяния света в оптическом волокне [1]. Метод заключается в использовании в качестве чувствительного элемента одномодового телекоммуникационного оптического волокна, в которое вводятся оптические импульсы высококогерентного лазерного излучения наносекундной длительности. При распространении вдоль волокна оптический импульс рассеивается на неоднородностях волокна, при которой часть рассеянного излучения распространяется в обратном направлении и достигает начала волокна, где регистрируется с помощью оптического приемника для последующего анализа. Механические или акустические воздействия локально деформируют оптическое волокно, изменяя во времени положение отражающих центров, модулируя амплитуду и фазу оптического сигнала.