

УДК 681.7.068

А.В. Хлыбов (асп., каф.РФ), О.И. Котов, д.ф.м.н., проф.

ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЙ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛЧИН

ABSTRACT: A new polarimetric fiber-optic sensor with passive and remote sensing head has been introduced. A pseudo-heterodyne detection is applied for the sensor work. The modulation of phase difference of the fiber modes is induced due to change the fiber birefringence with the help of axial strain or lateral pressure. The sensor resolution can potentially reaches the resolution of two-fiber interferometers. The sensor scheme is free from some drawbacks are specific to two-fiber interferometric sensors. The sensor can be utilized as vibrometer, acoustic sensor, accelerometer, etc., according to construction of the sensing head.

Мы предлагаем поляриметрическую схему дистанционного датчика с пассивным чувствительным элементом, в которой применяется наиболее удобная, на наш взгляд, реализация схемы псевдогетеродинного режима. Данный метод псевдогетеродинного приёма был предложен в [1] для волоконного гироскопа, где используется вспомогательная модуляция разности фаз плечей интерферометра на фиксированной частоте. Такая схема имеет всего два параметра настройки (индекс и фаза вспомогательной модуляции) и гораздо проще в реализации, чем методы синтезированного гетеродина или гетеродина с пилообразной модуляцией фазы.

Два плеча интерферометра в таком случае пространственно совмещены и различны по поляризации, являясь ортогональными поляризационными модами сильнодвулучепреломляющего волокна. Как во вспомогательном модуляторе, так и в чувствительном элементе вносится модуляция разности фаз поляризационных мод волокна, при этом должно выполняться условие отсутствия связи мод, поскольку связь мод вызывает изменение их амплитуд, что приводит к расстройке псевдогетеродинного режима.

Поскольку обе пространственные моды анизотропного волокна пространственно совмещены, то чувствительность волоконной трассы к внешним воздействиям со стороны окружающей среды достаточно низка. Кроме того, поляриметрическую схему легко сделать балансной для полного устранения частотных шумов лазера. Для этого достаточно на середине волоконной трассы сделать разрез волокна и спаять его затем, развернув одну часть на 90° . Оптические элементы датчика изготовлены с применением одномодового сильнодвулучепреломляющего волокна с длиной биений $\Lambda = 3$ мм, которое выполняет функции отводящей и подводящей трассы, а в чувствительном элементе и вспомогательном модуляторе подвергается внешним воздействиям, приводящим к сигнальной и вспомогательной модуляции разности фаз поляризационных мод. Использование такого волокна позволяет сохранить поляризационные моды независимыми, несмотря на случайные неоднородности в волоконном тракте. Схема устройства приведена на рис. 1.

Линейная поляризация излучения He-Ne лазера ориентируется пластинкой $\lambda/2$ под углом 45° к главным оптическим осям волокна, таким образом обе ортогональные поляризационные моды этого волокна возбуждаются с одинаковой амплитудой. Вспомогательный модулятор, установленный в начале волоконной трассы, изменяет по гармоническому закону разность фаз между этими модами [2]. Модулятор изготовлен на основе пьезокерамического цилиндра с волоконной намоткой. Конструкция чувствительного элемента, вносящего сигнальную разность фаз, определяется назначением датчика (виброметр, акселерометер, акустический датчик и т.п.). Как во вспомогательном модуляторе, так и в чувствительном элементе выполняются условия, при которых становится возможной эффективная модуляция двулучепреломления за счёт эффекта фотоупругости. На выходе волокна поляризационная модуляция преобразуется в модуляцию интенсивности $I(t)$ с помощью анализатора, ось которого ориентирована под углом 45° к оптическим осям. После этого свет попадает на фотоприёмник. После широкополосного усиления $I(t)$ поступает на схему аналогового ключа. Эта схема вырезает из $I(t)$ на каждом периоде длительностью $1/f$ временной интервал, равный

$1/2f$, где $f = 15$ кГц – частота вспомогательной модуляции. Выходной сигнал ключевой схемы подаётся на полосовой фильтр, настроенный на пропускание в диапазоне частот $2f \pm 7$ кГц. Полученный в результате сигнал является гетеродинным и может подаваться на фазовый детектор для определения сигнальных сдвигов фазы.

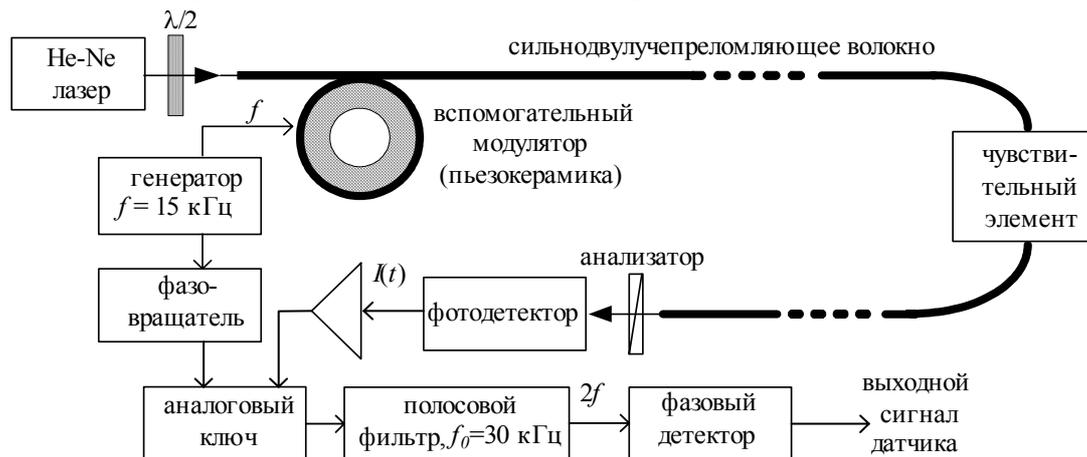


Рис. 1. Схема поляризационного волоконного датчика

Экспериментально было обнаружено, что на входе фазового детектора электрический сигнал может содержать амплитудную модуляцию при индексе вспомогательной фазовой модуляции, отличном от оптимального индекса (2,82 рад). Амплитудная модуляция уменьшает линейность динамического диапазона датчика, поэтому является нежелательной.

Выполнив анализ различных способов создания модуляции разности фаз поляризационных мод в чувствительном элементе или вспомогательном модуляторе, мы остановились на продольном растяжении анизотропного волокна и поперечном давлении на волокно в направлении его оптической оси. Остальные способы оказались либо недостаточно эффективными, либо приводили к связи мод. В обоих случаях деформации волокна приводят к изменению его двулучепреломления вследствие эффекта фотоупругости.

Были проведены макетные исследования поляриметрического датчика с чувствительным элементом, действующим за счёт растяжения волокна и поперечного давления, в качестве виброметра и датчика акустического давления. Удельная чувствительность виброметра, использующего в чувствительном элементе продольное растяжение, составила $K = 0,209$ рад/(мкм·м), что в 580 раз хуже эквивалентного интерферометра Маха-Цендера. Его разрешающая способность в полосе 1 Гц: $\eta = 0,021$ ангстрем. При этом длина волокна в чувствительном элементе: $L = 6,74$ м. Для акустического варианта датчика было экспериментально получено $K = 10^{-4} \dots 10^{-3}$ рад/(Па·м), $\eta = 5 \cdot (10^{-4} \dots 10^{-5})$ Па при $L = 61$ м. Для виброметра с чувствительным элементом, действующим за счёт поперечного давления на волокно, было получено: $K = 10^2 \dots 10^3$ рад/(мкм·м), $\eta = 10^{-2} \dots 10^{-3}$ ангстрем при $L = 0,07$ м. При сравнении экспериментальной разрешающей способности такого виброметра с интерферометром Маха-Цендера, полагая длину волокна в их различных чувствительных элементах одинаковой, мы получили, что в этом случае поляриметрический датчик эффективнее фазового в 2...4 раза.

Для виброметрических чувствительных элементов на основе механизмов продольного сжатия и поперечного давления видно, что их разрешающая способность оказалась близка. В первом варианте это связано с тем, что длину взаимодействия L в таких чувствительных элементах очень легко увеличить до десятков и сотен метров, а во втором связано с высокой эффективностью модуляции разности фаз собственных мод при малой длине взаимодействия.

ЛИТЕРАТУРА:

1. A.D. Kersey, A.C. Lewin, D.A. Jackson, "Pseudo-heterodyne detection scheme for the fiber gyroscope", Electronics Letters, April 1984, vol. 20, № 9, pp. 368-370.
2. Ю.В. Недзвецкий, А.В. Хлыбов, О.И. Котов, «Поляризационный волоконно-оптический модулятор», этот сборник тезисов.