

УДК 535.4

## МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ОТНОШЕНИЯ СИГНАЛ/ШУМ В ОПТИЧЕСКОМ ТРАКТЕ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

В. Ф. ПОЗДНЯКОВ

Белорусско-Российский университет  
Могилев, Беларусь

Качество интерференционной картины в лазерном интерферометре в значительной степени определяется стабильностью мощности излучения лазера и качеством элементов оптической части интерферометра.

Дестабилизация мощности излучения обусловлена в основном релаксационными колебаниями внутри разрядной трубки ОКГ. Флуктуация тока разряда приводит к уменьшению мощности на выходе лазера, и, как следствие, к временной модуляции интенсивности интерференционного поля. Возникающая в результате этого погрешность может быть скомпенсирована в электронной части преобразователя введением блока автоматической регулировки усиления, на выходе поддерживается периодический сигнал постоянной амплитуды [1].

В оптическом тракте интерферометра часто возникают шумы, вызванные наличием дефектов изготовления оптических элементов и флуктуаций атмосферы в промежутке информационного преобразователя. Что касается нестациональности физических параметров атмосферы, то она учитывается введением поправочных коэффициентов. Оптические же помехи, случайные во времени и в пространстве, не могут быть учтены регулярным образом и для их исключения требуются специальные методы.

С физической точки зрения препятствия, возникающие на пути когерентных пучков в интерферометрическом преобразователе, представляют собой амплитудные и фазовые экраны. При этом нарушается структура светового пучка. Если рассмотреть общий случай падения светового пучка в некотором сечении, содержащем препятствие, то часть светового пучка проходит через сечение без искажения. Другая часть пучка рассеивается на препятствии и изменяет направление распространения. И, наконец, третья часть дифрагирует на препятствии и накладывается на прошедший пучок.

Таким образом, в общем случае, в плоскости регистрации интерференционной картины будут присутствовать все три составляющих пучка. Являясь когерентными, они беспорядочно интерферируют между собой и вызывают паразитную модуляцию интерференционной картины, которая приводит к появлению шума в электрическом сигнале на выходе регистрирующего фотоприемника, и, как следствие, к снижению соотношения сигнал/шум.

Повышение данного соотношения является важной предпосылкой для оптимизаций структуры измерительного устройства в целом и позволяет повысить достоверность измерительной информации.

Как известно из теории связи [2], на выходе линейной системы при аддитивной смеси сигнала  $S(x,y)$  и стационарного случайного шума  $u(x,y)$ , будем иметь

$$F(x,y) = S(x,y) + u(x,y).$$

В качестве критерия оптимальности такой системы выбирают соотношение сигнал/шум в точке  $X = 0, Y = 0$ , т. е.

$$\frac{S}{N} = \frac{|S_0(0,0)|^2}{\sigma^2},$$

где  $\sigma^2$  – среднеквадратическое значение шума на выходе.

Максимум такого соотношения достигается при выполнении условия

$$H = (p, q) = \frac{K \cdot S^*(p, q)}{N(p, q)},$$

где  $H = (p, q)$  – передаточная функция фильтра в пространстве частот  $p, q$ ;  $S^*(p, q)$  – преобразование Фурье входного сигнала;  $N(p, q)$  – спектральная плотность мощности шума на входе фильтра.

Анализ данного выражения показывает, что если шум на входе фильтра белый  $N = (p, q) = 1$ , то  $H = (p, q) = H = (p, q)$ . Отсюда следует, что можно построить линейный фильтр, зная спектральную характеристику входного сигнала, при условии его реализуемости.

Подобный метод фильтрации может быть реализован в оптике, поскольку с помощью сферической положительной линзы можно осуществить двумерное Фурье-преобразование над когерентным оптическим полем. Если в передней фокальной плоскости распределение поля имеет вид  $S(x,y)$ , то в ее задней фокальной плоскости формируется оптическое Фурье-преобразование выходного сигнала  $S^*(p, q)$ .

$$S(p, q) = c \iint_{(x,y)} S(x, y) \exp[-i(px + qy)] dx dy,$$

где  $(x,y)$  обозначает интегрирование по плоскости  $f(x,y)$ .

Поскольку в плоскости регистрации интерференционной картины складываются две плоские световые волны, имеющие наклон  $\alpha$  к оси распространения, суммарная картина в плоскости регистрации описывается выражением

$$S(x) = E \cdot e^{i \cdot k \cdot x \cdot \sin \alpha} + E \cdot e^{i \cdot k \cdot x \cdot \sin(-\alpha)}.$$

Соответствующее ему Фурье-преобразование

$$S(p) = E \int_x e^{-i(p-k \cdot \sin \alpha)x} dx + E \int_x e^{-i(p+k \cdot \sin \alpha)x} dx.$$

Откуда на основе свойств преобразования Фурье получим [3]

$$S(p) = E[\delta(p - k \cdot \sin \alpha) + \delta(p + k \cdot \sin \alpha)].$$

Спектр  $S(p)$  – вещественный, поэтому  $S(p) = S^*(p)$ .

Таким образом, передаточная характеристика оптимального фильтра имеет вид:

$$H(p) = E[\delta(p - k \cdot \sin \alpha) + \delta(p + k \cdot \sin \alpha)].$$

Если этот фильтр установить в фокальной плоскости Фурье преобразующей линзы, то он пропустит полезный сигнал и небольшую часть шума, спектральные частоты которого равны  $k \cdot \sin \alpha$  и  $-k \cdot \sin \alpha$ .

Вторая линза, передняя фокальная плоскость которой совпадает с плоскостью  $H(p)$ , осуществит еще одно прямое Фурье-преобразование. При этом получим восстановленный входной сигнал, но в координатах  $(-X, -Y)$ , т. е.  $S(-X, -Y)$ .

Поскольку угол  $\alpha$  мал, то для когерентного сигнала выполняется условие линейности, что позволяет применить описанный метод оптической фильтрации в интерферометрических схемах. При этом на выходе фильтра будет присутствовать весьма малая доля мощности входного шума, т. к. полезный сигнал является узкополосным.

В реальном интерферометрическом преобразователе лазерный пучок не бывает строго параллелен. Это связано с тем, что основная мода лазерного излучения имеет так называемое гауссово распределение. Поэтому изображение такой волны в фокальной плоскости представляет собой пятно малого, но конечного размера [3].

Расчет размеров такого фильтра включает оценку конфокального параметра «пустого резонатора» лазера, диаметра перетяжки гауссова пучка на выходе резонатора и геометрических параметров оптической схемы, состоящей из положительных линз.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Фукс-Рабинович, Л. И.** Оптико-электронные приборы / Л. И. Фукс-Рабинович, М. Е. Епифанцев. – Ленинград: Машиностроение, 1979. – 368 с.
2. **Ахматов, С. А.** Введение в статическую физику и оптику / С. А. Ахматов, Ю. Е. Дьяков, А. С. Чернин. – Москва: Наука, 1981. – 640 с.
3. **Климков, Ю. Е.** Основы расчета оптико-электронных приборов с лазером / Ю. Е. Климков. – Москва: Советское радио, 1978. – 264 с.