

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 10

26 мая 1990 г.

06.3;07;12

©1990

ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК МАГНИТНОГО ПОЛЯ

С.Н. Антонов, В.М. Котов

Датчики магнитных полей, использующие чувствительные элементы из волоконных световодов (ВС), обладают рядом преимуществ – гальваническая развязка чувствительного элемента и регистрирующей аппаратуры, отсутствие возмущения исследуемого поля, нечувствительность к электрическим помехам, высокое быстродействие, широкий рабочий диапазон температур и давлений [1–3]. Здесь мы решаем одну из проблем таких датчиков – устранение влияния акустических полей, снижающих чувствительность.

Для работы датчика должны быть выполнены условия продольного фазового синхронизма между световыми волнами и вызванным магнитным полем периодическим пространственным изменением диэлектрической проницаемости среды: $\beta_1 - \beta_2 = 2\pi/\Lambda$, где β_1, β_2 – разность постоянных распространения собственных оптических мод, Λ – пространственный период модуляции диэлектрической проницаемости. Чувствительный элемент изготавливается путем намотки одномодового, изначально изотропного световода в виде цилиндрической катушки, что приводит к появлению двулучепреломления [4]. Тогда, если для данного ВС радиус намотки R выбран так, чтобы длина биений ортогональных по поляризации мод $L_G = 2\pi/(\beta_1 - \beta_2)$ стала равна длине одного витка ($\beta_1 - \beta_2 = 1/R$), магнитное поле, вектор напряженности которого перпендикулярен оси катушки, будет осуществлять связь между этими модами. При этом состояние поляризации света $\Delta\alpha$ на выходе световода длиной L связано с на-

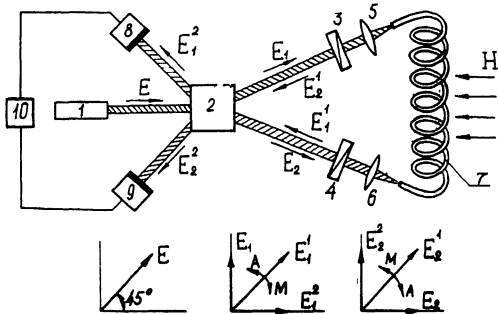


Рис. 1. Оптическая схема датчика магнитного поля.

пряженностью магнитного поля H по закону $\Delta\alpha = 1/2(HV/L)$, где V - постоянная Верде [2, 3].

В работах [2, 3] впервые показано, что из кварцевого волокна можно создать датчик с длиной ВС в несколько метров и достигать чувствительность порядка 10^{-3} Э. Однако изменение поляризации будет вызвано не только магнитным полем, но и акустическим воздействием [5].

Нами разработана оптическая схема датчика, в котором осуществляется компенсация воздействия акустических колебаний, основанная на свойстве двухпроходных оптических схем (свет проходит через световод дважды - в прямом и обратном направлениях), когда фазовая анизотропия, вызванная механическими напряжениями и деформациями, имеет взаимный характер, а магнитное поле воздействует невзаимным образом.

Схема устройства представлена на рис. 1. Здесь оптические лучи обозначены буквой E с соответствующими индексами, а их поляризация (направление вектора электрического поля) показана на диаграммах в нижней части рисунка (ось ординат перпендикулярна плоскости рисунка, в которой распространяются все оптические лучи, ось абсцисс - параллельна ей). Излучение лазера 1 направляется на двухлучевой поляризатор 2 (у нас призма Волластона) с вектором поляризации, ориентированным под 45° к осям поляризатора, что образует на его выходе два луча E_1 и E_2 равных интенсивностей и ортогональных поляризаций. Далее оба луча пропускаются через фазовые пластины ($\lambda/2$) 3 и 4, затем с помощью линз 5 и 6 свет вводится в волоконно-оптический чувствительный элемент 7. Пройдя волокно, свет вновь поступает на линзы и фазовые пластины, после которых образуются лучи E_1' и E_2' , совмещенные в угловом и координатном пространствах с соответствующими лучами E_1 и E_2 (в этом совмещении и состоит процесс юстировки системы). Из симметрии схемы очевидно, что поступающая на поляризатор лучи E_1' и E_2' , пройдя через

него, образуют каждый по паре лучей: первая пара в направлении лазера и вторая в направлениях, обозначенных как E_1^2 и E_2^2 , где установлены фотоприемники 8 и 9, подключенные к дифференциальному усилителю 10, выходной сигнал которого пропорционален разности интенсивностей E_1^2 и E_2^2 .

Для рассмотрения условий компенсации акустических воздействий воспользуемся результатами работы [6]. Световод с произвольной фазовой анизотропией можно представить в виде элемента, состоящего из оптического ротатора и линейной фазовой пластины, описываемой матрицей Джонса: $M = \Phi(\Delta\varphi, \gamma) C(\vartheta)$, где $C(\vartheta)$ — матрица Джонса ротатора на угол ϑ , а $\Phi(\Delta\varphi, \gamma)$ — матрица Джонса линейной фазовой пластины с разностью фаз $\Delta\varphi$ и ориентацией под углом γ . Учитывая, что поляризационные свойства для встречных направлений подчиняются соотношению: $C^+ = C^{-\tau}$, где знак τ есть операция транспонирования, запишем важные для нас соотношения:

$$C^+(\vartheta) = C^{\tau}(-\vartheta); \quad \Phi^+(\Delta\varphi, \gamma) = \Phi^{\tau}(\Delta\varphi, \gamma). \quad (1)$$

Пусть суммарная величина фазовой анизотропии нами подобрана так, чтобы при линейной поляризации на входе для луча одного направления, на выходе для того же луча поляризация осталась линейной, но повернулась на 45° (этот подбор практически осуществляется изменением ориентации фазовой пластины 3 или 4). Тогда, как следует из (1), плоскости поляризации лучей, прошедших систему встречно будут параллельны (что отражено на диаграммах рис. 1) и на фотоприемники поступят ортогонально поляризованные лучи E_1^2 и E_2^2 равной интенсивности. Далее легко понять, что дополнительная фазовая анизотропия, вызванная взаимным эффектом (например, акустикой), будет приводить к изменениям ориентации векторов E_1^1 и E_2^1 в противоположные направления (на диаграммах стрелки А) и, следовательно, интенсивности на фотоприемниках будут изменяться одинаково — сигнал на выходе дифференциального усилителя отсутствует. При не взаимном воздействии (магнитным полем) вектора E_1^1 и E_2^1 вращаются в одном направлении (на диаграммах стрелки М), указанная разность сигналов будет пропорциональна величине магнитного поля. Отметим наличие в схеме двух фазовых пластинок. Вращением одной из них всегда можно сбалансировать интенсивности света на фотоприемниках. Однако ориентация индикатрисы чувствительности датчика зависит от состояния поляризации света на входе световода (подробно смотри в [2], следовательно, необходима еще одна степень свободы для согласования указанной индикатрисы с ориентацией вектора магнитного поля, что и достигается вращением второй фазовой пластины.

Чувствительный элемент экспериментального макета датчика содержал 4 м кварцевого изотропного одномодового световода (длина волны отсечки 0.6 мкм) с диаметром сердцевины 4 мкм и внешней кварцевой оболочкой 100 мкм, который был намотан

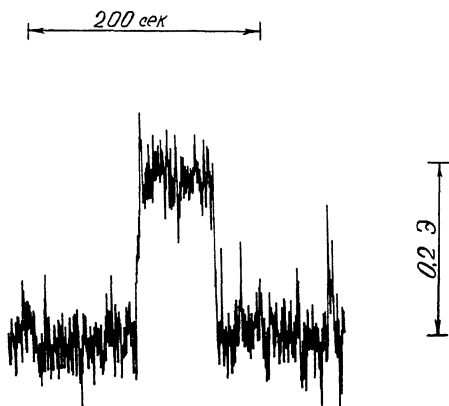


Рис. 2. Результат измерения магнитного поля в схеме с компенсацией взаимных воздействий.

на кварцевый сердечник диаметром 8 мм. Тем самым, условие пространственного синхронизма выполнялось на длине волны света 0,63 мкм (использовался $He-Ne$ лазер с мощностью 1 мВт). Датчик помещался в переменное магнитное поле с частотой 1 кГц; сигнал с выхода дифференциального усилителя поступал на синхронный детектор (время накопления интегратора 1 с) и регистрировался с помощью двухкоординатного самописца.

На рис. 2 показан результат воздействия магнитного поля ($H=0.2$ Э). Было установлено, что схема обеспечивает подавление акустических помех в данном частотном диапазоне до уровня -20 дБ относительно включения чувствительного элемента в однопроходную схему. Отметим, что оригинальным моментом является то, что в предлагаемой схеме функции разделения оптического пучка на встречные каналы, последующая пространственная и поляризационная селекция выполняется одним элементом, что обеспечивает максимальную защищенность от вибраций, а конструкция датчика отличается достаточной простотой.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Андрушко Л.М., Вознесенский В.А., Катов В.Б. и др. Справочник по волконно-оптическим линиям связи. К.: Техника, 1988.
- [2] Антонов С.Н., Булюк А.Н. // Препринт ИРЭ АН СССР. 1989. № 7(508).
- [3] Антонов С.Н., Булюк А.Н., Ветошко П.М.// Письма в ЖТФ, 1989. Т. 15. С. 76-80.

- [4] Антонов С.Н., Булюк А.Н. // Оптика и спектроскопия. 1989. Т. 67. В. 6. С. 1374-1379.
- [5] Антонов С.Н., Речевский Е.Б. // Акустический журнал. 1989. Т. 35. В. 5. С. 769-773.
- [6] Геликонов В.М., Леонов В.И., Новиков М.А. // Квантовая электроника. 1989. Т. 16. № 9. С. 1905-1910.

Поступило в Редакцию
7 декабря 1989 г.