

07;09;12

©1995

ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ РАДИОСИГНАЛОВ В ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВАХ

*О.И.Котов, Л.Б.Лиокумович, В.М.Николаев,
В.Ю.Петрунькин, Абу Газали Сулейман*

Широко известны применения волоконных световодов в измерительных устройствах [1,2]. При этом используют фазовую, поляризационную модуляцию света или модуляцию по интенсивности. Так, применение фазовой и поляризационной модуляции позволяет измерять параметры самих световодов [3,4], создавать сенсорные устройства [2,5], но требуются преобразователи этих видов модуляции в модуляцию интенсивности.

В данной работе рассмотрены простые измерительные устройства с использованием гармонической модуляции интенсивности когерентного излучения на радиочастотах и интерференцией радиосигналов (рис. 1). После модулятора свет расщепляется на два потока, один из которых проходит волоконный световод и задерживается на время Δt , а второй сразу поступает на фотодетектор. Условия приема исключали возможность оптической интерференции этих двух лучей. На нагрузке фотоприемника два радиосигнала (огбающая световой несущей) суммируются и результат сложения зависит от Δt . Если радиочастота $F = \Omega/2\pi$ удовлетворяет соотношению

$$\Omega \cdot \Delta t = \pi \cdot (2k - 1), \quad k = 1, 2, 3, \dots, \quad (1)$$

то (при равенстве амплитуд интерферирующих радиосигналов) сигнал интерференции равен нулю.

На рис. 2, а показан пример экспериментальной зависимости сигнала интерференции от частоты модуляции при изменении последней в широком диапазоне. Задержка Δt в волоконном световоде зависит от его геометрической длины L и группового показателя преломления n_g в данном спектральном диапазоне оптического излучения

$$\Delta t = \frac{L \cdot n_g}{c}. \quad (2)$$

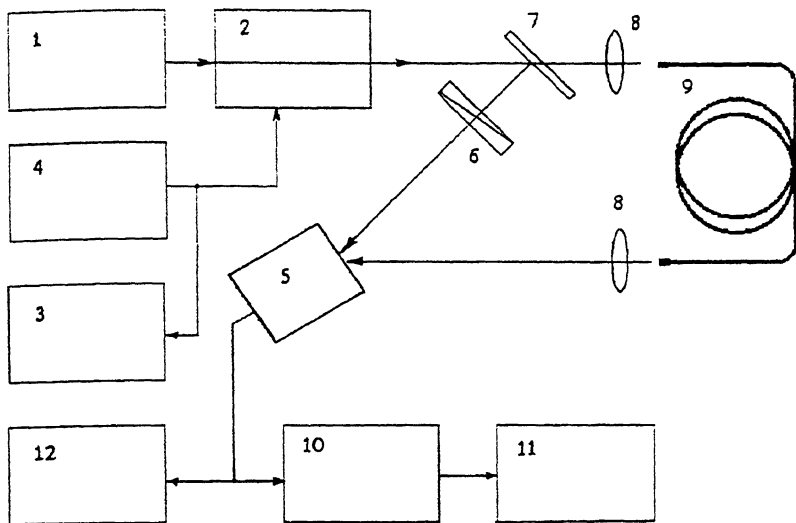


Рис. 1. Структурная схема установки: 1 — оптический источник, лазер ЛГН-205; 2 — модулятор интенсивности МЛ-102; 3 — частотомер ЧЗ-57; 4 — генератор ГЗ-112; 5 — фотоприемное устройство; 6 — attenuator; 7 — делительное зеркало; 8 — микрообъектив; 9 — волоконный световод; 10 — спектроанализатор СК4-58; 11 — двухкоординатный самописец; 12 — осциллограф.

Если n_r известно, то, измерив частоту F_k , соответствующую k -му нулю сигнала, можно измерить длину световода:

$$L = \frac{(2k - 1) \cdot c}{2 \cdot F_k \cdot n_r}. \quad (3)$$

Так, для длины световода $L = 10$ м первый нуль ($k = 1$) соответствует частоте модуляции примерно 10 МГц.

Отметим, что в этом диапазоне стабильность радиочастотных генераторов имеет значение $\sim 10^6$, что определяет высокую потенциальную точность измерения длины световода (~ 10 мкм).

Однако величина n_r зависит от характеристик источника света и параметров оптического волокна. При использовании газовых лазеров, относительная ширина линии которых составляет $\sim 10^{-6}$ ($\Delta\nu_{\text{ген}} = 2 \cdot 10^9$ Гц), влияние его спектра на n_r не велико. Влияние же свойств волокна на n_r необходимо учитывать, и для точного измерения длины световода требуются дополнительные калибровочные измерения. Связь n_r с параметрами световода можно использовать для оценки межмодовой дисперсии волокна. На рис. 2, б показано изменение положения первого нуля сигнала интерференции

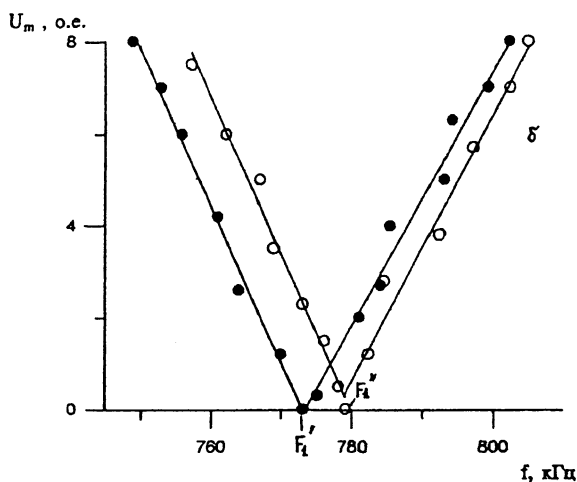
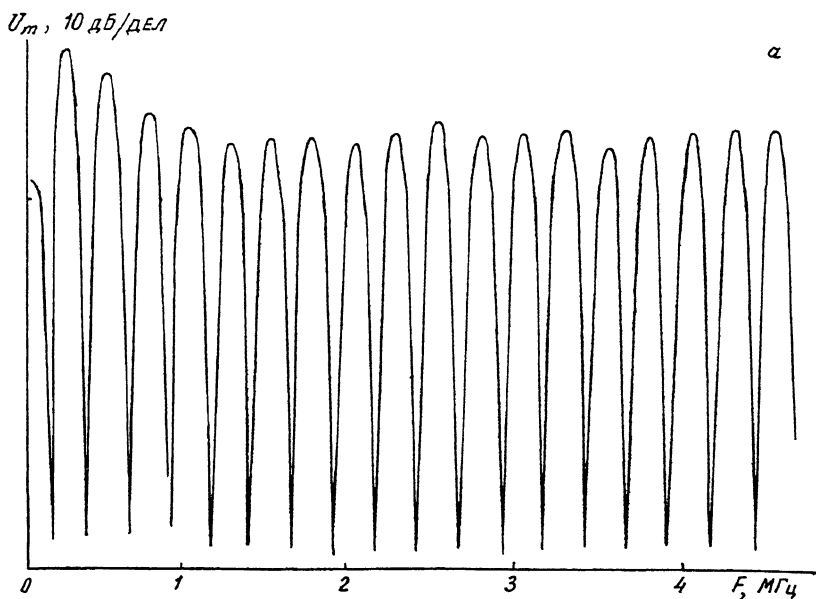


Рис. 2. Зависимости амплитуды сигнала интерференции от частоты модуляции: а — $L = 810$ м, б — $L = 126$ м.

при разных условиях ввода излучения в многомодовый ступенчатый световод. Наименьшая частота F_1' соответствует возбуждению в волокне мод, близких к основной. Наибольшая частота F_1'' наблюдалась при углах ввода, близких к предельному, определяемому числовой апертурой. Величи-

на изменения частоты $\Delta F_1 = F_1' - F_1''$ связана с межмодовой дисперсией

$$\tau = \frac{\Delta F_1}{2 \cdot F_1' \cdot F_1''} \quad (4)$$

Для ступенчатого волокна длиной $L = 126$ м, исследованного в экспериментах, сдвиг нуля составил $\Delta F_1 = 6$ кГц (рис. 2, б), что дает величину $\tau = 4.9$ нс или для 1 км — $\tau_{\text{мм}} = 39.2$ нс/км. Эта величина хорошо соответствует такому типу световода с диаметром сердцевины 50 мкм.

Оптическая длина волокна $L n_r$ зависит также от внешних условий [2,5]: температуры, давления, механических воздействий и т. п. И следовательно, данный подход можно применить в датчиковых световодных устройствах. В работах [6,7] использовался метод многопроходной интерференции радиосигналов для измерительных целей, но на основе сложных механизмов преобразования воздействий в изменения сигнала интерференции, что требует особой предосторожности в интерпретации результатов и устранения неинформативных фазовых сдвигов на частоте радиосигналов.

Как известно, фазовые волоконные датчики, как правило, позволяют получить только смещение измеряемой величины от начального значения. Данный подход регистрации радиочастоты, соответствующий нулю сигнала интерференции, открывает возможность построения волоконных дистанционных датчиков абсолютных значений физических величин.

Список литературы

- [1] *Евстигеев Н.Н., Засовин Э.А., Мирвоицкий Д.И.* // Итоги науки и техники. Связь. 1991. Т. 8. С. 24–109.
- [2] *Волоконно-оптические датчики: физические основы, вопросы расчета и применения / В.И. Бусурин, Ю.Р. Носов.* М.: Энергоатомиздат, 1990. 256 с.
- [3] *Filipov V.N., Kotov O.I., Nikolaev V.M.* // *Electronic Lett.* 1990. V. 26. N 10. P. 658–660.
- [4] *Котов О.И., Марусов О.Л., Николаев В.М., Петрунькин В.Ю., Филиппов В.Н.* // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. В. 7. С. 1–6.
- [5] *Модуляционные эффекты в волоконных световодах и их применение / Ю.В. Гуляев, М.Я. Меш, В.В. Проклов.* М.: Радио и связь, 1991. 152 с.
- [6] *Sixt P., Kotrotsios G., Fazio L., Parriaux O.* // *J. of Lightwave technology.* 1986. V. 4. N 7. P. 926–923.
- [7] *Kotrotsios G., Fazio L., Jeanneret J., Parriaux O.* // *SPIE.* 1985. V. 586. P. 99–103.

Санкт-Петербургский
государственный
технический университет

Поступило в Редакцию
27 июня 1995 г.