

ГЕТЕРОДИННЫЙ ПРИЕМ ИНФОРМАЦИИ О РАСПРЕДЕЛЕНИИ
СВЕТОВОГО ПОЛЯ

В. А. Зубов, А. В. Крайский

УДК 621.378.9:772.99

Рассматривается схема гетеродинного метода регистрации информации об одномерной картине светового поля, базирующаяся на использовании нестационарной опорной волны с линейным изменением частоты по сечению. Выполнены эксперименты по регистрации амплитудной и фазовой информации о световом поле для модельных одномерных объектов.

Использование фотоэлектрических приемников для регистрации амплитудной и фазовой информации о поле излучения /1/ дает определенные преимущества по сравнению с другими регистрирующими системами. В работе рассматривается применение метода гетеродинного приема с нестационарной опорной волной с линейным изменением частоты по сечению. Волна формировалась в результате дифракции света лазера на бегущей ультразвуковой волне /2/ с частотой 6,25 МГц. Сигнальная волна создавалась излучением нулевого порядка дифракции. Оптическая схема показана на рис. 1. Система из цилиндрической L_1 и сферической L_2 линз в сочетании с ультразвуковой ячейкой US преобразует излучение лазера в две узкие световые полосы в плоскости $\xi\eta$, параллельные оси ξ , с частотами ω_0 и ω_T , которые освещают объект O_0 и отверстие O_T диаметром $2\Delta\xi$, движущееся в направлении оси ξ со скоростью v . Волна, создаваемая отверстием в плоскости $\xi\eta$, имеет вид

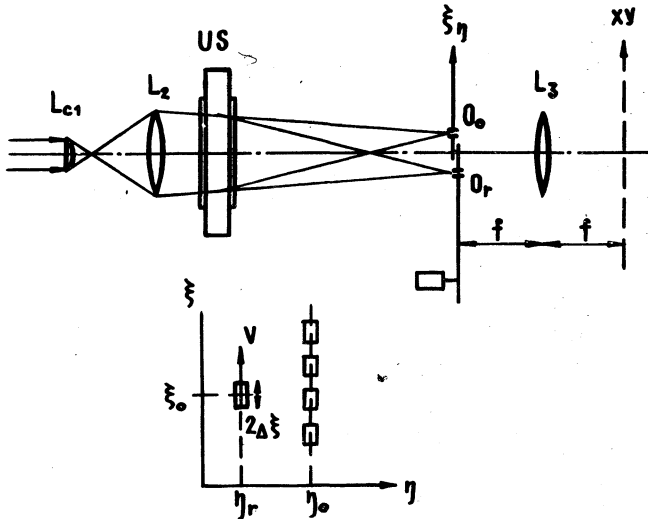
$$E_T(\xi, \eta, t) = \delta(\eta - \eta_T) \exp[-i\omega_T t],$$
$$\xi_0 - vt - \Delta\xi \leq \xi < \xi_0 - vt + \Delta\xi. \quad (I)$$

В задней фокальной плоскости линзы L_2 , в плоскости x_0 формируется опорная волна. Представляющее интерес распределение поля

объекта имеет вид

$$E_0(\xi, \eta, t) = \epsilon_0(\xi) \exp[i\varphi_0(\xi)] \delta(\eta - \eta_0) \exp[-i\omega_0 t]. \quad (2)$$

В плоскости xu создается Фурье-образ регистрируемого поля. Примем, что фотоэлектрический приемник, например ФЭУ, расположен в



Р и с. 1. Оптическая схема гетеродинного приема при регистрации информации о световом поле

плоскости xu . Переменная часть фототока приемника будет описываться выражением

$$J(t) \sim \exp[-i\Delta\omega t] \frac{\sin[y_0(\omega_0\eta_0 - \omega_r\eta_r)/cf]}{(\omega_0\eta_0 - \omega_r\eta_r)/cf} \int_{\xi} \epsilon_0(\xi) \exp[i\varphi_0(\xi)] \times$$

$$\times \left\{ \int_{-x_0}^{x_0} \frac{\sin[(\omega_r x \Delta\xi)/cf]}{(\omega_r x)/cf} \exp\left[-i \frac{\omega_r x}{cf} \left(\frac{\omega_0}{\omega_r} \xi - \xi_0 + vt\right)\right] dx \right\} d\xi +$$

+ КОМПЛ. сопр.

(3)

Основной вклад в $J(t)$ вносит поле, сосредоточенное в области, которая определяется величиной дифракционной картины от отверстия размером $2\Delta\xi$. В рассматриваемом случае размер приемной поверхности значительно превосходит размер дифракционной картины. Это позволяет во внутреннем интеграле в (3) перейти к бесконечным пределам. Интеграл не обращается в ноль при выполнении условий /3/

$$\begin{aligned} \Delta\xi - \frac{\omega_0}{\omega_r} \xi + \xi_0 - vt > 0, \\ -\Delta\xi - \frac{\omega_0}{\omega_r} \xi + \xi_0 - vt > 0, \end{aligned} \quad (4)$$

что дает

$$J(t) \sim \frac{\sin[\gamma_0(\omega_0\eta_0 - \omega_r\eta_r)/c\tau]}{(\omega_0\eta_0 - \omega_r\eta_r)/c\tau} \times$$

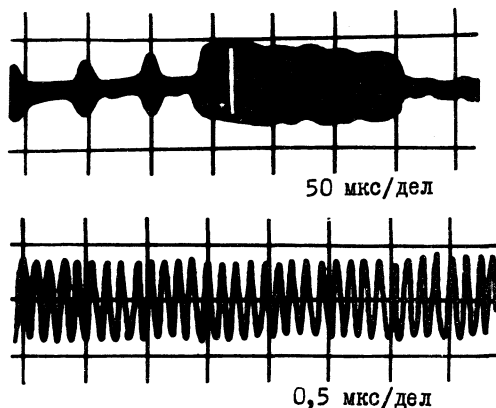
$$\times \int_{(\xi_0 - vt - \Delta\xi)\omega_r/\omega_0}^{(\xi_0 - vt + \Delta\xi)\omega_r/\omega_0} \delta_0(\xi) \exp[i(\varphi_0(\xi) - \Delta\omega t)] d\xi + \text{компл. сопр.} \quad (5)$$

В этом выражении $\Delta\omega = \omega_0 - \omega_r$ - разность частот предметной и опорной волн, причем $\omega_r/\omega_0 \approx 1$ с большой степенью точности. Множитель перед интегралом ограничивает область регистрации по оси y , т.е. в плоскости xu должна быть расположена щелевая диафрагма шириной $\leq 2y_0$. Примем, что постоянная составляющая фототока исключена в электрических цепях. Величина $2\Delta\xi$ в (5) определяет разрешение по времени.

В экспериментальной установке отверстие диаметром 0,25 мм, формирующее опорную волну, находилось вблизи края вращающегося диска ($v \approx 1500$ см/с). Для снижения требований к диафрагме, расположенной перед приемником, картина из плоскости xu проецировалась микроскопическим объективом с увеличением на приемную площадку. Результаты эксперимента для модельного амплитудного объекта приведены на рис. 2. Вверху изображена осциллограмма поля при развертке 50 мкс/дел, несущая частота не выделена. Яркий участок осциллограммы в растянутом масштабе (0,5 мкс/дел) показан в нижней строке. Отчетливо можно видеть несущую частоту сигнала. Осциллограммы показывают преимущество перед гомодинным приемом амплитуд-

ной информации /4/, которое заключается в независимости амплитуды огибающей от случайных фазовых искажений.

Для качественного анализа фазовой информации выполним преобразование выражения (5). Примем, что фаза медленно меняется в направ-



Р и с. 2. Результаты регистрации амплитудной информации о поле

лени оси ξ на входном транспаранте. Разлагая $\varphi_0(\xi)$ в ряд в окрестности точки $\xi_0 - vt$ и сохраняя два члена разложения из-за малости области $2\Delta\xi$, имеем

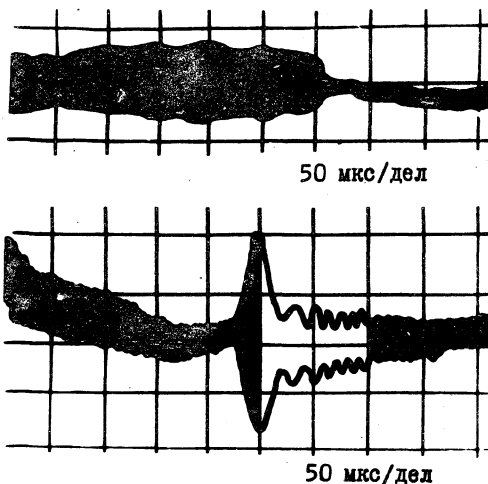
$$J(t) \sim \exp [i(\varphi_0(\xi_0 - vt) - \Delta\omega t)] \times$$

$$\times \int_{\xi_0 - vt - \Delta\xi}^{\xi_0 - vt + \Delta\xi} \xi_0(\xi) \exp \left[i \frac{d\varphi_0(\xi)}{d\xi} \Big|_{\xi=\xi_0 - vt} (\xi - \xi_0 + vt) \right] d\xi +$$

$$+ \text{компл. сопр.} \quad (6)$$

Множитель перед интегралом описывает колебания с изменяющейся частотой. Изменение частоты в эксперименте не очень удобно для наблюдения, так как на практике дает небольшую добавку к несущей частоте $\Delta\omega$. Интеграл отражает изменение амплитуды сигнала. Наблюдать это изменение достаточно легко. Эксперимент проводился в таких условиях, когда входной транспарант представлял собой щель

высотой ~ 5 мм, в пределах которой амплитудное воздействие практически отсутствовало. Фазовое воздействие осуществлялось цилиндрической линзой ($f = 370$ мм), располагающейся перед вход-



Р и с. 3. Результаты регистрации информации о фазовой модуляции светового поля

ным транспарантом, и описывалось функцией $\exp[ia\xi^2]$. Переменная составляющая выходного тока приемника

$$J(t) \sim \frac{\sin[a(\xi_0 - vt)2\Delta\xi]}{a(\xi_0 - vt)} \exp[i(a(\xi - vt)^2 - \Delta\omega t)] +$$

+ компл. сопр.

(7)

содержит огибающую вида $\sin u/u$, описывающую изменение амплитуды. Результаты эксперимента приведены на рис. 3, на котором первая осциллограмма соответствует амплитудному пропусканию входного транспаранта при отсутствии фазового воздействия (скорость развертки 50 мкс/дел). Вторая осциллограмма дает картину фазового воздействия в плоскости входного транспаранта. Она имеет несимметричный характер относительно центра картины, что обусловлено смещением центра кривизны линзы, создающей фазовое воздействие.

от центра рабочей области входного транспаранта. Результаты эксперимента показывают, что огибающая выходного тока подобна поведению функции типа $\sin u/u$. Однако, имеются и различия. В эксперименте видно явное уменьшение расстояния между минимумами с увеличением номера и не очень быстрое убывание амплитуды максимумов, что функцией $\sin u/u$ не описывается. Эти расхождения могут возникать из-за вклада опущенных членов разложения при вычислении интеграла (5). Следует также учесть, что в действительности отверстие, формирующее опорную волну, двумерное и круглое. Это приводит к тому, что функция $\sin u/u$ деформируется. Учитывая сделанные приближения, согласно можно считать вполне удовлетворительным.

Таким образом, в работе показана возможность использования гетеродинного приема с нестационарной опорной волной для регистрации амплитудной и фазовой информации о световом полсе.

Поступила в редакцию
18 марта 1977 г.

Л и т е р а т у р а

1. В. А. Зубов, Т. И. Кузнецова, М. М. Сушинский. Квантовая электроника, I, № 9, 2071 (1974).
2. Е. Р. Мустель, В. Н. Парыгин. Методы модуляции и сканирования света. Изд. "Наука", Москва, 1970 г.
3. И. С. Градштейн, И. М. Рыжик. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. Изд. "Наука", 1971 г., стр. 325, № 3.352.7.
4. В. А. Зубов. Квантовая электроника, 4, № 4 (1977).