

противоположными знаками $U_n = \pm 5$ В. АЗУ по концу преобразования переходит в режим «Выборка»; по сигналу запуска — в режим «Хранение». Коммутатор по командам от магистрали крейта поочередно подключает сигналы к выходу АЗУ. При этом на входе АЗУ формируется знакопеременный меандр периода T с амплитудой $2U_n$. Запуск АЦП проводится от стандартного генератора задержанных импульсов (через переднюю панель). Изменяя задержку τ , можно определить ее минимальное значение, когда погрешность преобразования еще не превышает 1 кванта (2,5 мВ). Значение этой задержки и обуславливает время выборки. Экспериментально полученное значение времени выборки при применении в АЗУ усилителей 544УД2А, ключа на транзисторе КП303Е и накапливающего конденсатора $C_n = 150$ пФ 600 нс.

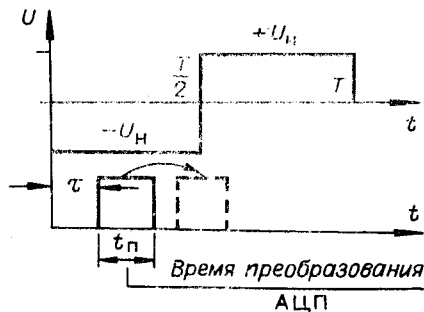


Рис. 2.

Таким образом, при использовании описываемой методики минимизации значения запоминающего конденсатора время выборки определяется в основном динамическими свойствами ОУ.

Контроль за значением коэффициента режекции осуществляется при этом следующим образом: время задержки запуска τ изменяется так, чтобы скачок на входе АЗУ имел место на интервале времени преобразования АЦП. Наблюдение за результатами аналого-цифрового преобразования позволяет судить о наличии погрешности от прямого прохождения сигнала в режиме «Хранение». Подавление этого эффекта с погрешностью не более $2 \cdot 10^{-4}$ при $C_n = 150$ пФ достигается практически без регулировки схемы компенсации.

Поступило в редакцию 29 апреля 1982 г.

УДК 535.681.3.05

В. И. ГУНДЯК, И. И. МОХУНЬ

(Черновцы)

ОБ ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ ГОЛОГРАММНЫХ И РЕФРАКЦИОННЫХ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Перспективным направлением развития элементной базы систем оптической обработки информации является применение в них голограммных оптических элементов (ГОЭ) [1]. Однако в силу своей дискретной структуры ГОЭ не может рассматриваться как полный аналог рефракционного оптического элемента (даже без учета абберационных характеристик). Величина периода локальной решетки ГОЭ, ее функция пропускания и связанная с ней дифракционная эффективность ограничивают наименьший элемент разрешения и сложность обрабатываемой информации [2].

Целью данной работы является исследование сравнительных характеристик ГОЭ и рефракционных элементов. Пусть параллельный пучок излучения освещает ГОЭ и рефракционный элемент, в плоскости которых находятся ограничивающие диафрагмы. Поскольку максимальное различие между преобразованными волновыми фронтами будет возникать при размере ограничивающей диафрагмы, сравнимой с локальным периодом ГОЭ, рассмотрим лишь этот случай. Тогда полосы локальной решетки можно считать прямыми, а ее период постоянным.

Поле за ГОЭ и рефракционным элементом описывается соответственно

$$U_r \sim P_a(x)\Phi(x), \quad U_p \sim P_a(x)\exp\{j(2\pi/T)x\}, \quad (1)$$

где $\Phi(x)$ — функция пропускания ГОЭ; $\exp\{j(2\pi/T)x\}$ — пропускание оптического клина; T — локальный период; $P_a(x) = \begin{cases} 1, & |x| \leq a, \\ 0, & x > a, x < -a, \end{cases}$ $2a$ — размер ограничивающей диафрагмы.

Для сравнения волновых фронтов, преобразованных рефракционным и голограммным оптическими элементами, используем корреляционный критерий. Рассмотрим корреляционную функцию

$$g(t) = U_r * U_p \quad (2)$$

или

$$g(t) = \int_{-\infty}^{\infty} P_a(x)\Phi(x)P_a(x+t)\exp\left\{-j\frac{2\pi}{T}(x+t)\right\}dx. \quad (3)$$

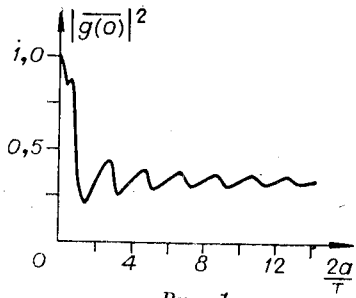


Рис. 1.

ражением

Можно показать, что максимум корреляционной функции определяется выражением

$$g(0) = 2a \sum_{n=-\infty}^{\infty} \alpha_n \operatorname{sinc} \{ \xi (n-1) \}. \quad (4)$$

Здесь α_n — коэффициенты разложения функции пропускания локального периода ГОЭ по экспоненциальным функциям, $\xi = 2a/T$.

В случае амплитудной синусоидальной решетки имеем

$$g(0) = (1/4) \{ 1 + [\sin \xi] [\cos \pi \xi + 2] \}. \quad (5)$$

Для синусоидальной фазовой решетки максимум корреляционной функции описывается вы-

$$g(0) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n \left(\frac{2\pi}{\lambda} h \right) \operatorname{sinc} \{ \xi (n-1) \}, \quad (6)$$

где h — высота профиля решетки, λ — длина волны освещающего излучения, J_n — функция Бесселя n -го порядка.

На рис. 1 приведена теоретическая характеристика изменения нормированного квадрата модуля максимума корреляционной функции $|g(0)|^2$ в зависимости от соотношения входного отверстия и локального периода для фазовой синусоидальной решетки с максимальной дифракционной эффективностью. Как видно из рисунка, $|g(0)|^2$ осциллирует вблизи определенного значения дифракционной эффективности решетки. Осцилляция затухает при увеличении отношения величины входного отверстия к периоду и составляет величину не более 5% при соотношении $2a/T \approx 12$. Если считать такую осцилляцию допустимой, то в области $2a/T > 12$ ГОЭ — аналог рефракционного элемента. Для синусоидальной амплитудной решетки с максимальной дифракционной эффективностью осцилляция не превышает 5% при соотношении $2a/T \approx 20$. В случае киноформы с дифракционной эффективностью 100% ГОЭ является полным аналогом рефракционного элемента.

Для экспериментальной проверки в качестве аналога оптического клина использовалась решетка с дифракционной эффективностью 60%, частотой 9 штр./мм. В качестве устройства, позволяющего получать корреляционные функции, применялся коррелятор Вандер Люгта (рис. 2, а). Параллельный пучок освещал щель с переменной шириной (1). В плоскости P_x записывалась голограмма-фильтр (2). На стадии восстановления во входную плоскость коррелятора помещалась испытываемая решетка (3). Отсутствие клина компенсировалось сдвигом фильтра на величину $z\lambda/T$, где T — период испытываемой решетки, z — фокусное расстояние фурье-преобразующих объективов (3, 5). В плоскости обратного фурье-преобразования P_t исследовался максимум корреляционной функции. Нормировка проводилась по максимуму автокорреляционной функции, когда испытываемая решетка отсутствовала. Голограммы-фильтры записывались для разных щелей, размеры которых изменялись от 5 ($2a/T$) до 11 ($2a/T$).

Результаты эксперимента представлены на рис. 3. Как видно из рисунка, даже при дифракционной эффективности $\sim 60\%$, квадрат модуля корреляционной функ-

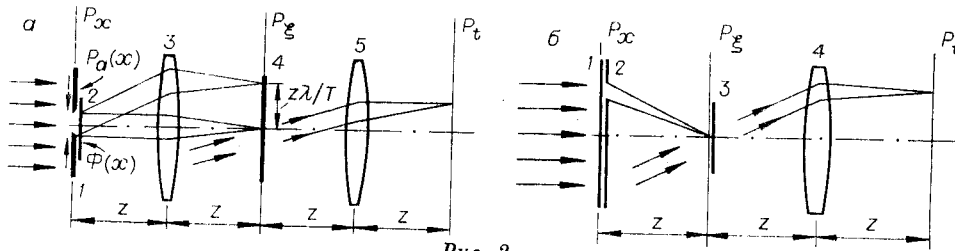


Рис. 2.

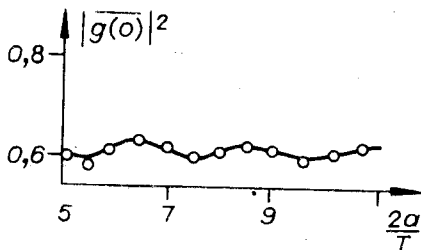


Рис. 3.

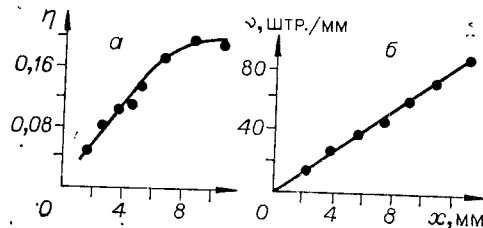


Рис. 4.

ции осциллирует. Однако уже при размерах щелей, превышающих в 5 раз период решетки, осцилляция составляет всего лишь 3%.

В качестве реальной системы, на которой изучалось отличие функциональных особенностей ГОЭ от рефракционных элементов, использовался коррелятор (рис. 2, б: 1 — голограммная линза, 2 — объект, 3 — голограмма-фильтр, 4 — фурье-преобразующий объектив), в котором фурье-преобразующий объектив был выполнен в виде голограммной линзы с фокусным расстоянием $z = 250$ мм. Дифракционная эффективность, частотная характеристика линзы в зависимости от координат входного отверстия приведены на рис. 4, а и б соответственно. За нуль отсчета взят нуль частоты на линзе.

Объект помещался в область ГОЭ, заведомо работающую как оптический элемент (локальный период менее 10 мкм). В плоскости P_ξ записывалась голограмма-фильтр. На стадии восстановления объект дискретно перемещался вдоль входного отверстия линзы по направлению к нулю частоты. В плоскости P_t измерялось отношение сигнал/шум Q . Использовались три типа объектов: бинарный (квадрат со стороной 2 мм), бинарный квазипериодический объект (отпечаток пальца со средней частотой 10 штр./мм), статистический полутонный транспарант.

Поле в плоскости P_ξ можно записать как

$$U(\xi, \eta) = \alpha_1 \mathcal{F}\{\xi, \eta\} + \sum_{n=2}^{\infty} \alpha_n U_n \left\{ \left[\xi + (n-1) \frac{z\lambda}{T} \right], \eta, z \right\} + \sum_{n=-\infty}^0 \alpha_n U_n \left\{ \left[\xi + (n-1) \frac{z\lambda}{T} \right], \eta, z \right\}, \quad (7)$$

где $\alpha_1 \mathcal{F}\{\xi, \eta\}$ пропорционально фурье-образу входного объекта, второй и третий члены определяют величину шума в корреляционной плоскости.

Максимальный вклад в шумовую составляющую обычно вносит член $U_0\{(\xi - (z\lambda/T)), \eta, z\}$, представляющий собой в зависимости от z либо френелевский, либо фурье-спектр поля объекта, не дифрагировавшего на ГОЭ. Тогда очевидно, что в случае полутонного статистического объекта U_0 — квазиднородный шум для голограммы-фильтра, постоянно увеличивающийся с уменьшением локального периода T . В случае квазипериодического объекта, спектр которого имеет регулярную структуру, шумовая составляющая в плоскости P_ξ осуществляет осцилляцию в зависимости от z . Это приводит к осцилляции отношения сигнал/шум в плоскости P_t .

Результаты проведенных экспериментов приведены на рис. 5. Кривые описывают изменение отношения сигнал/шум в зависимости от положения объекта 1 во входной плоскости голограммной линзы. Для полутонного статистического объекта 2 отношение сигнал/шум монотонно падает при приближении к нулю частоты линзы. Для квазипериодического объекта 3 в соответствии с приведенным рассмотрением наблюдается осцилляция отношения сигнал/шум. В случае бинарного объекта (квадратное отверстие размером 2×2 мм) 1 видно наиболее резкое падение отношения сигнал/шум. Это обусловлено концентрацией энергии в спектре в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Причем осцилляции в отношении сигнал/шум невелики, поскольку при $z = 250$ мм не выполняется приближение Фраунгофера.

Таким образом, в работе предложен и экспериментально подтвержден корреляционный метод сравнительного исследования ГОЭ и рефракционных элементов. Полученные результаты позволяют проводить оценку идентичности функциональных особенностей ГОЭ и рефракционных элементов в зависимости от характера обрабатываемой информации, локального периода ГОЭ и функции пропускания локальной решетки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мохунь И. И., Мустафин К. С., Протасевич В. И. Оптическая реализация масштаб-но-инвариантного преобразования. — Автометрия, 1979, № 1.
2. Гудмен Дж. Возможности когерентных оптических систем обработки информации. — ТИИЭР, 1977, т. 65, № 1.

Поступило в редакцию 2 апреля 1981 г.

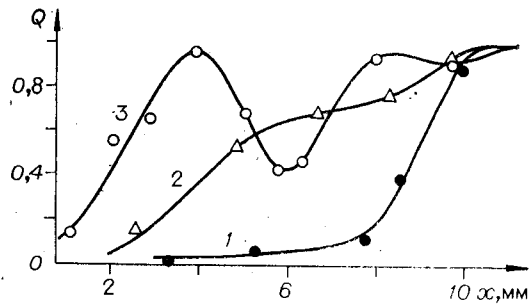


Рис. 5.