

ЛИТЕРАТУРА

1. П. И. Кузнецов, Р. Л. Стратонович, В. И. Тихонов. О длительности выбросов случайной функции.— «ЖТФ», 1954, т. 24, вып. 1, с. 103—112.
2. В. И. Тихонов. Выбросы случайных процессов. М., «Наука», 1970.
3. Б. Р. Левин. Теоретические основы статистической радиотехники. М., «Сов. радио», 1974.
4. В. Н. Жовинский, В. Ф. Арховский. Корреляционные устройства. М., «Энергия», 1974.
5. Г. С. Ландсберг. Оптика. М., Гостехиздат, 1954.
6. А. А. Свешников. Прикладные методы теории случайных функций. Л., Судпромгиз, 1961.

Поступило в редакцию 5 января 1976 г.

УДК 535.8 : 621.378

В. Н. ВЬЮХИН
(Новосибирск)

ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ УПРАВЛЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИМ ФРОНТОМ В АКУСТООПТИЧЕСКОМ ДЕФЛЕКТОРЕ

Известно, что расширения полосы частот акустооптического дефлектора (АОД) можно достичь, управляя фронтом акустической волны с помощью фазированной решетки пьезопреобразователей. Гордон [1] показал, что эта задача может быть выполнена при противофазном питании соседних элементов решетки. В этом случае, однако, возникает паразитный акустический пучок, что приводит к удвоению требуемой акустической мощности и появлению дифракции на паразитном пучке. Корпел и другие авторы [2] описали дефлекторы, в которых для управления фронтом акустической волны используется ступенчатая решетка пьезопреобразователей. Однако изготовление такого устройства технологически сложнее, чем устройства с плоской решеткой. В более общем случае задача управления акустическим фронтом решена в работе [3], где, в частности, показано, что для точного управления акустическим фронтом соседние элементы плоской решетки пьезопреобразователей должны питаться со сдвигом фаз, пропорциональным квадрату частоты. Реализовать устройство, осуществляющее эту функцию в широкой полосе частот, весьма затруднительно. В настоящей работе описан способ управления акустическим фронтом в дефлекторе с плоской решеткой, эквивалентный управлению фронтом с помощью ступенчатой решетки пьезопреобразователей.

На рис. 1, а показана плоская решетка пьезопреобразователей, элементы которой питаются через коаксиальные линии задержки ЛЗ—1÷ЛЗ—3, причем соседние элементы запитываются в противофазе путем подачи сигнала управления поочередно на верхний и нижний электроды преобразователей. Достаточное число элементов решетки равно 4 [2]. Фазовый сдвиг в питании соседних элементов решетки

$$\varphi = \omega T_0 - \pi, \quad (1)$$

где $\omega = 2\pi f$, f — частота сигнала управления; $T_0 = 1/2 f_0$, f_0 — средняя частота дефлектора, на который выставляется угол Брегга $\Theta_{Б0}$.

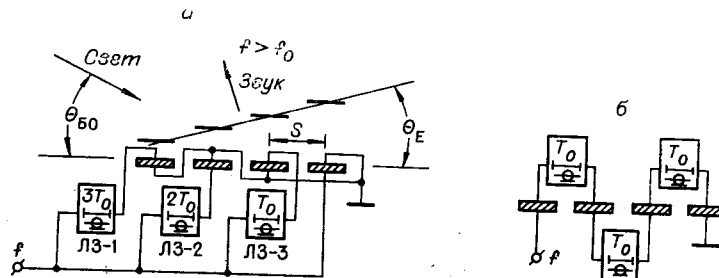


Рис. 1.

В результате фазировки элементов решетки фронт излучаемой акустической волны будет повернут относительно плоскости преобразователей на угол Θ_E :

$$\Theta_E = \varphi \Lambda / 2\pi S, \quad (2)$$

где Λ — длина волны ультразвука; S — шаг решетки.

Из формул (1) и (2) имеем

$$\Theta_E = (f - f_0) V / 2S f_0 \quad (3)$$

(V — скорость ультразвука в акустооптической среде).

Решая уравнение $d\Theta_E/df = d\Theta_B/df$ при $f = f_0$, получим значение шага решетки

$$S = \Lambda_0^2 / \lambda. \quad (4)$$

Здесь $\Lambda_0 = V/f_0$; λ — длина волны света в среде; $\Theta_B = \lambda f / 2V$.

Подставляя выражение (4) в (3), получим

$$\Theta_E = (f - f_0) \lambda f_0 / 2V f = (f - f_0) / f. \quad (5)$$

Угол поворота фронта акустической волны Θ_E должен компенсировать изменение угла Брегга Θ_B в диапазоне частот. Ошибка, с которой вырабатывается угол Θ_E в устройстве рис. 1, а, определяется выражением

$$\Delta\Theta_E = \Theta_E - (\Theta_B - \Theta_{B_0}) = -\Theta_{B_0}(f - f_0)^2 / f f_0. \quad (6)$$

Сравним полосу частот АОД без управления акустическим пучком с полосой частот АОД, в котором используется описанный способ управления, при одинаковых длинах взаимодействия света и звука $W = 4S$. Приведенная в [1] и ряде других работ методика расчета полосы частот АОД не учитывает изменения угла расходимости акустического пучка в полосе частот и поэтому справедлива лишь для узкополосных дефлекторов, имеющих $\Delta f / f_0 \ll 1$. С учетом изменения расходимости акустического пучка в полосе частот верхнюю f_B и нижнюю f_H граничные частоты АОД можно найти из соотношения

$$\Delta\Theta_B = \varphi_S, \quad (7)$$

где $\Delta\Theta_B = \Theta_B - \Theta_{B_0} = \Theta_{B_0}(f - f_0) / f_0$; φ_S — расходимость акустического пучка. Значение φ_S на уровне спада интенсивности дифрагированного света 3 дБ из [1] с учетом равенства $W = 4S$

$$\varphi_S = \pm 0,45 \frac{\Lambda}{W} = \pm 0,225 \Theta_{B_0} f_0 / f. \quad (8)$$

Подставляя в (7) положительные и отрицательные значения φ_S из (8), получим соответственно $f_B = 1,19f_0$ и $f_H = 0,66f_0$, и следовательно, полоса частот $\Delta f = f_B - f_H = 0,53f_0$. Полоса частот АОД, в котором используется описанный способ управления акустическим фронтом, определяется из выражения

$$|\Delta\Theta_E| = |\varphi_S|. \quad (9)$$

В формуле (9) использованы абсолютные значения функций, так как $\Delta\Theta_E$ всегда имеет один знак. Решая (9), получим $f'_B = 1,475f_0$, $f'_H = 0,525f_0$ и $\Delta f' = 0,95f_0$. Следовательно,

но, при использовании описанного способа управления акустическим фронтом полоса частот АОД расширилась на 80% и существенно превысила октаву частот.

На рис. 2 приведены графики углов Θ_E (1) и $\Theta_B - \Theta_{B_0}$ (2), нормированные относительно Θ_{B_0} . Из графиков видно, что ошибка управления $\Delta\Theta_E$ (разность между ординатами графиков 1 и 2) имеет один знак во всей полосе. Это позволяет уменьшить ошибку управления и еще более расширить полосу частот путем установки такого угла между оптическим пучком и плоскостью преобразователей, чтобы точная компенсация имела место на двух частотах (т. е. график 2 на рис. 2 сместить вниз). Это позволит существенно увеличить допустимую длину взаимодействия при сохранении полосы, равной октаве частот. На рис. 1, б приведен другой способ включения линий задержки, эквивалентный по эффекту схеме рис. 1, а, но имеющий меньшую суммарную длину кабеля задержки.

Можно показать, что предложенный способ управления акустическим фронтом путем фазировки элементов плоской решетки преобразователей по механизму действия полностью эквивалентен управлению акустическим фронтом с помощью ступенчатой решетки преобразователей и все выводы, полученные в настоящей работе, справедливы

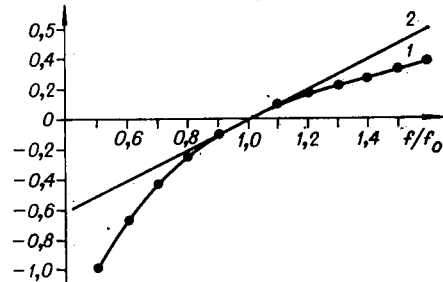


Рис. 2.

также для акустооптического дефлектора со ступенчатой решеткой преобразователей. В заключение отметим, что использование в АОД описанного способа управления акустическим фронтом позволяет практически неограниченно увеличивать длину взаимодействия света и звука при сохранении полосы, равной октаве частот. Это позволит существенно уменьшить мощность возбуждения АОД и реализовать чисто брегговский режим работы, при котором в 1-й порядок дифрагирует практически 100 % прошедшего света. Первое обстоятельство особенно важно для дискретного дефлектора, так как позволяет снизить дрейф отклоненного пучка при изменении мощности возбуждения. В аналоговых применениях АОД, где дрейф отклоненного пучка не существует, оказывается возможным использовать материалы с низким коэффициентом акустооптического качества, например стекла типа флинт.

ЛИТЕРАТУРА

1. Е. Гордон. Обзор по акустическим отклоняющим и модулирующим устройствам.— «ТИИЭР», 1966, т. 54, № 10, с. 181—192.
2. А. Корпел, Р. Адлер, П. Десмарес, В. Ватсон. Использование акустической системы отклонения и модуляции когерентного света для создания телевизионного изображения.— «ТИИЭР», 1966, т. 54, № 10, с. 219.
3. A. G o q u i n. Wide-band acousto-optic deflectors using acoustic beam steering.— "IEEE Trans. on Sonics and Ultrasonics", 1970, vol. SU-17, № 1, p. 34.

Поступило в редакцию 13 февраля 1976 г.

УДК 621.378.9 : 778 : 4

В. М. ВАРИКАШ, Н. И. ДАНИЛОВИЧ,
А. К. ПОЛОНИН, В. А. СИНЯЕВ
(Минск)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДЕФЕКТОВ ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКИХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ

В предлагаемой работе применены методы голографической интерферометрии [1, 2] для визуализации дефектов в пьезоэлектрических излучателях, выполненных на основе керамики ЦТС-19 (диаметр пластин 50 мм, толщина 1,5 мм).

Существенные достоинства этих методов: 1) возможность проведения бесконтактной дефектоскопии элементов любой, сколь угодно сложной формы; 2) осуществление визуализации внутренних дефектов; 3) получение результатов в удобном для анализа виде; 4) использование оптики сравнительно невысокого качества.

Для исследований применялся голографический интерферометр, оптическая схема которого приведена на рис. 1. Изменение соотношения интенсивностей интерферирующих пучков достигается при помощи светофильтра 4 и лежит в пределах 0,3—0,5. Угол между опорным и объектным пучками составляет 30°. Все элементы схемы были жестко закреплены к виброизолированной стальной плите. Для регистрации голограмм использовались фотопластинки «Микрат ВР-Л».

При исследованиях в реальном масштабе времени [3] изображение объекта восстанавливается с помощью опорного пучка; на

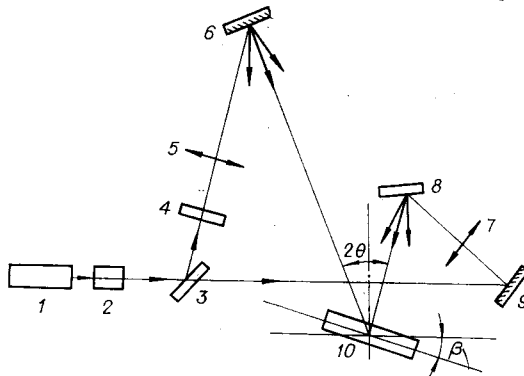


Рис. 1. Схема голографического интерферометра для регистрации полей деформаций в отраженном свете:

1 — ОКГ (ЛГ-36А); 2 — затворное устройство; 3 — полупрозрачное зеркало ($\rho=50\%$); 4 — фильтр интенсивности опорного пучка; 5, 7 — линзы; 6, 9 — диэлектрические зеркала ($\rho=98\%$); 8 — объект; 10 — фотопластинка.