

УМЕНЬШЕНИЕ ФОНОВЫХ ЗАСВЕТОК НУЛЕВОГО ПОРЯДКА В ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

В. И. Яковлев и Т. Н. Сергеевко

Рассмотрен простой способ существенного уменьшения фоновых засветок за счет изменения конфигурации апертурной диафрагмы ультразвуковых модуляторов света.

Одним из факторов, ухудшающих соотношение сигнал/шум и сужающих динамический диапазон в оптических системах обработки сигналов, устройством ввода в которых служат ультразвуковые модуляторы света (УМС) [1], является фоновая засветка, обусловленная постоянной составляющей коэффициента пропускания оптических элементов.

Обычно для уменьшения таких фоновых засветок в области первого дифракционного порядка, в котором содержится основная информация об исследуемом сигнале, стараются как можно больше разнести дифракционные порядки, для чего повышают рабочую частоту УМС. Однако для распространенных в настоящее время ультразвуковых модуляторов света с жидкостной линией задержки (например, дистиллированная вода), позволяющих обрабатывать сигналы наибольшей длительности, предельная частота ультразвуковых колебаний не должна превышать величину порядка 20—25 Мгц. В противном случае затухание ультразвуковых волн в звукопроводе значительно исказит световое распределение на выходе оптического устройства. Это ограничение не позволяет практически устранить влияние фона нулевого порядка.

В данном сообщении исследуется простой способ существенного уменьшения фоновых засветок за счет изменения конфигурации апертурной диафрагмы УМС (рис. 1), которым можно воспользоваться при обработке кратковременных радиосигналов длительностью τ меньшей времени интегрирования УМС. При этом в отличие от известных способов уменьшения боковых лепестков в нулевом дифракционном порядке [2] не происходит никакого искажения полезных световых распределений в первом порядке дифракции.

Пусть диафрагма, конфигурация которой ясна из рис. 1, расположена в оптической системе так, что направление распространения ультразвуковой волны будет совпадать с осью x . В этом случае в фокальной плоскости интегрирующей линзы световое распределение, соответствующее нулевому порядку, можно записать в виде [1]

$$E'(x', y', \varphi) = E_0 \int_{-a/2}^{a/2} \int_{y \operatorname{ctg} \varphi - \frac{p'}{2}}^{y \operatorname{ctg} \varphi + \frac{p'}{2}} \exp \left[i \frac{2\pi}{\lambda F} (xx' + yy') \right] dx dy, \quad (1)$$

где E_0 — амплитуда падающего светового поля, λ — длина световой волны, F — фокусное расстояние интегрирующей линзы, a — размер апертурной диафрагмы вдоль оси y , φ — угол скоса апертурной диафрагмы, $p' = p + a \operatorname{ctg} \varphi$, p — апертура УМС, определяющая максимальную длительность обрабатываемого сигнала.

При $\varphi=90^\circ$, т. е. $p=p'$, апертурная диафрагма принимает свою обычную прямоугольную форму.

После вычисления интеграла (1) получаем следующее выражение:

$$E'(x', y', \varphi) = \frac{E_0 \lambda^2 F^2}{\pi^2 x' (y' + x' \operatorname{ctg} \varphi)} \sin\left(\frac{\pi}{\lambda F} x' p'\right) \sin\left[\frac{\pi}{\lambda F} (y' + x' \operatorname{ctg} \varphi) a\right]. \quad (2)$$

Так как полезная информация, как правило, содержится в первом дифракционном порядке, распределенном вдоль оси x' , то целесообразно учитывать в выражении (2) составляющие поля, также распределенные вдоль этой оси, т. е.

$$E'(x', 0, \varphi) = \frac{E_0 \lambda^2 F^2}{\pi^2 (x')^2 \operatorname{ctg} \varphi} \sin\left(\frac{\pi}{\lambda F} x' p'\right) \times \sin\left(\frac{\pi}{\lambda F} x' a \operatorname{ctg} \varphi\right). \quad (3)$$

Из выражения (3) следует, что амплитуда поля в интересующем нас направлении зависит от угла φ .

Для оценки ослабления фоновой засветки при изменении угла φ сравним поле, описываемое выражением (3), с полем, соответствующим прямоугольной апертурной диафрагме

$$\delta(x', \varphi) = \frac{E'(x', 0, \varphi)}{E'(x', 0, \varphi=90^\circ)} = \frac{\sin\left(\frac{\pi}{\lambda F} x' a \operatorname{ctg} \varphi\right)}{\left(\frac{\pi}{\lambda F} x' a \operatorname{ctg} \varphi\right)}. \quad (4)$$

На рис. 2 приведены результаты расчета функции $\delta(x', \varphi)$ для углов $\varphi=20, 40, 60, 80^\circ$ при $a=5 \cdot 10^{-3}$ м; $\lambda=0.63 \cdot 10^{-6}$ м; $F=0.3$ м. Из графиков видно, что даже при незначительном искажении апертурной диафрагмы наблюдается существенное ослабление фоновой засветки от оптической оси вдоль x' .

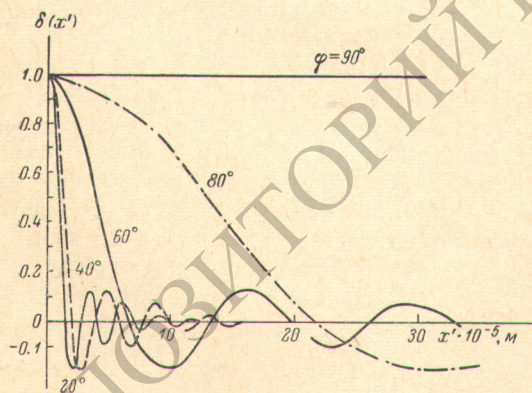


Рис. 2. Кривые ослабления нулевого дифракционного порядка при различных углах скоса апертурной диафрагмы.

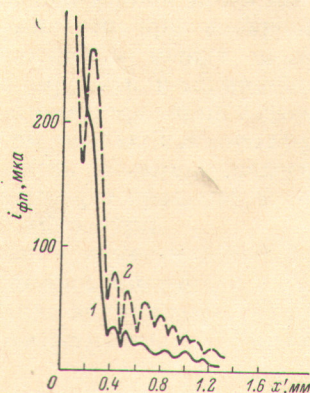


Рис. 3. Распределения интенсивностей нулевого порядка вдоль оси x_1 для $\varphi=80^\circ$ (1) и $\varphi=90^\circ$ (2).

Например, если в качестве рабочей частоты УМС выбрать $f=10$ МГц, то для $F=0.3$ м в точке расположения основного максимума первого дифракционного порядка при $\varphi=80^\circ$ ослабление фоновой засветки по сравнению со случаем прямоугольной апертуры составит около 26 дБ. При более значительных скосах апертурной диафрагмы, т. е. при уменьшении угла φ , или же при более высоких частотах можно добиться еще большего ослабления.

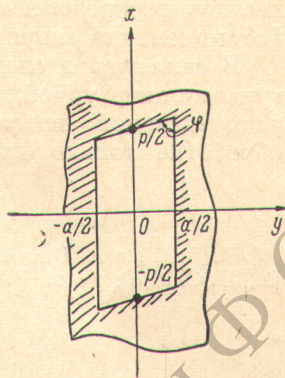


Рис. 1. Апертурная диафрагма оптической системы.

Для подтверждения полученных соотношений были проведены экспериментальные исследования распределения интенсивности нулевого порядка вдоль оси x' при прямоугольной диафрагме и $\varphi=80^\circ$. При этом использовалась интегрирующая линза с фокусным расстоянием $F=1500$ мм и апертурная диафрагма с размерами $p=35$ мм и $a=10$ мм. Результаты, приведенные на рис. 3, показывают, что даже при небольших смещениях от оптической оси ($x'=1$ мм) происходит заметное снижение интенсивности нулевого порядка. Отсутствие ярко выраженного первого лепестка (при $\varphi=80^\circ$) и некоторое искажение последующих боковых лепестков распределения объясняется влиянием конечных размеров щели фотоприемника (порядка 0.01×1 мм²).

В заключение следует отметить, что вышеописанное изменение конфигурации апертурной диафрагмы не вносит никаких искажений в световые распределения, получающиеся в первом дифракционном порядке при обработке только кратковременных радиоимпульсов.

Литература

- [1] В. Д. Свет. Оптические методы обработки сигналов. Изд. «Энергия», М., 1971.
- [2] Н. С. Шестов, Е. О. Федорова. Усп. физ. наук, 96, 717, 1968.

Поступило в Редакцию 7 августа 1972 г.