

4. Вакман Д. Е. Сложные сигналы и принцип неопределенности в радиолокации. М.: Сов. радио, 1965.
 5. Кондратенков Г. С. Обработка информации когерентными оптическими системами. М.: Сов. радио, 1972.

Поступило в редакцию 30 апреля 1980 г.

УДК 417 : 621.316.31

А. В. БУЧИН, С. В. МОРОЗОВ, Т. Н. СЕРГЕЕНКО,
 В. И. ЯКОВЛЕВ
 (Ленинград)

ОБ ОГРАНИЧЕНИИ СКОРОСТИ АНАЛИЗА В АКУСТООПТИЧЕСКИХ АНАЛИЗАТОРАХ

Среди множества схем акустооптических спектроанализаторов наибольшее распространение получили анализаторы дисперсионно-пространственного типа [1—3]. В этих устройствах ввод радиосигналов осуществляется с помощью ультразвукового модулятора света, установленного в передней фокальной плоскости тонкой собирающей линзы. Тогда в ее задней фокальной плоскости (частотной) формируется пространственный спектр исследуемого сигнала. При этом отклик системы на синусоидальные сигналы различной частоты будет появляться в различных точках частотной плоскости. С помощью сканирующего фотоприемника световое распределение, соответствующее спектру сигнала, преобразуется в электрический сигнал (напряжение или ток), зависящий от времени.

Для повышения быстродействия анализаторов необходимо увеличивать скорость сканирования. Однако метод фотодетектирования накладывает определенные ограничения на скорость анализа из-за помех, появляющихся в результате нелинейного характера преобразования световой энергии в электрическую.

Настоящее сообщение посвящено оценке допустимой скорости анализа в акустооптических спектроанализаторах дисперсионно-пространственного типа.

Рассмотрим случай одновременной подачи на вход акустооптического анализатора двух гармонических колебаний единичной амплитуды и частоты f_1 и f_2 :

$$u_1(t) = \sin(2\pi f_1 t + \varphi_1),$$

$$u_2(t) = \sin(2\pi f_2 t + \varphi_2).$$

Можно показать, что на выходе фотоприемника, осуществляющего квадратичное детектирование, формируется сигнал, который с точностью до несущественных множителей может быть описан следующим образом:

$$u_{\text{вых}}(x', t) = \text{sinc}^2 [T(f_2 - Vx'/\lambda F)] + \text{sinc}^2 [T(f_1 - Vx'/\lambda F)] +$$

$$+ 2\text{sinc} [T(f_1 - Vx'/\lambda F)] \text{sinc} [T(f_2 - Vx'/\lambda F)] \cos [2\pi(f_2 - f_1)t + \Delta\varphi], \quad (1)$$

где T и V — соответственно время и скорость распространения ультразвукового пакета в апертуре модулятора света, λ — длина волны света, F — фокусное расстояние интегрирующей линзы, x' — пространственная координата в задней фокальной плоскости интегрирующей линзы, $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$ — разность фаз высокочастотных сигналов, $\text{sinc } y = \sin y/y$.

Учитывая, что при преобразовании полученного сигнала в удобную для наблюдателя форму координата x' становится пропорциональной времени, т. е. $x' = V_{\text{п}}t$ ($V_{\text{п}}$ — скорость перемещения фотоприемника относительно светового распределения в частотной плоскости), выражение (1) можно представить в виде

$$u_{\text{вых}}(t) = \text{sinc}^2 [T(f_1 - \gamma t)] + \text{sinc}^2 [T(f_2 - \gamma t)] + 2\text{sinc} [T(f_1 - \gamma t)] \times$$

$$\times \text{sinc} [T(f_2 - \gamma t)] \cos [2\pi(f_2 - f_1)t + \Delta\varphi], \quad (2)$$

где $\gamma = VV_{\text{п}}/\lambda F$.

Легко показать, что параметр γ характеризует скорость анализа (отношение полосы анализируемых частот к времени анализа). Действительно, при размере светового распределения в частотной плоскости $\Delta x'$ время анализа $T_{\text{а}}$ будет определяться как $T_{\text{а}} = \Delta x'/V_{\text{п}}$. С другой стороны, пространственный размер светового распределения $\Delta x'$ связан с полосой частот ΔF исследуемого сигнала выражением $\Delta x' = F\lambda\Delta F/V$. Используя полученные соотношения, имеем $\gamma = \Delta F/T_{\text{а}}$.

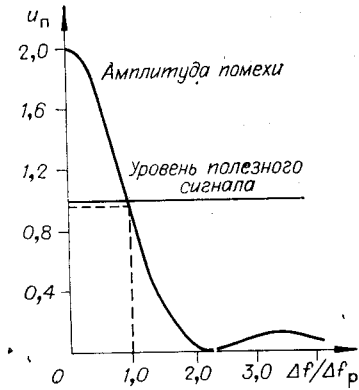


Рис. 1.

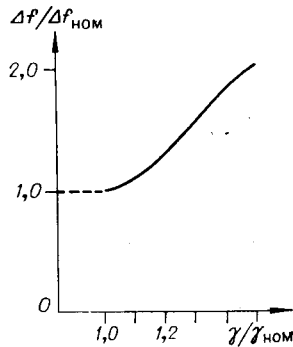


Рис. 3.

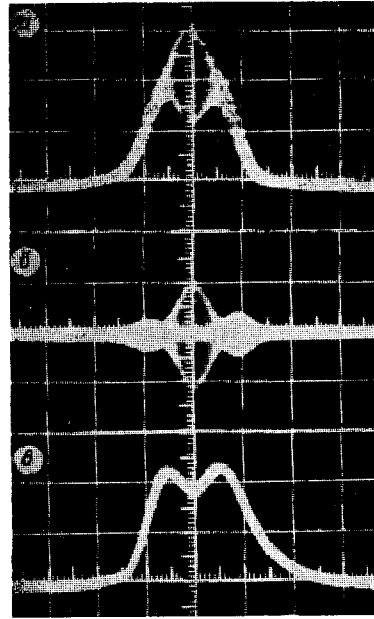


Рис. 2.

Сигнал, описываемый третьим слагаемым в формуле (2), является результатом нелинейного преобразования фотоприемником амплитуды светового поля в электрический ток. Наличие этого сигнала приводит к искажению выходной реакции и, следовательно, к неправильному отображению воздействующих на вход спектроанализатора частотных составляющих сигнала.

Оценим величину амплитуды мешающего сигнала в зависимости от разности частот, воздействующих на вход сигналов $u_1(t)$ и $u_2(t)$. Предположим, что фотоприемник расположен в точке фокальной плоскости, определяемой координатой $x' = (\lambda f_0 F)/V$. Кроме того, допустим, что f_1 и f_2 связаны между собой зависимостями $f_1 = f_0 - \Delta f/2$ и $f_2 = f_0 + \Delta f/2$, где $\Delta f = f_1 - f_2$. С учетом этих ограничений можно показать, что амплитуда помехи задается соотношением

$$u_n = 2 \operatorname{sinc}^2(T\Delta f/2).$$

Полученная зависимость от аргумента $\Delta f/\Delta f_p$ приведена на рис. 1 для $\Delta f_p = 0,88/T$ [4]. Видно, что помеха при разности частот $\Delta f = \Delta f_p$ (Δf_p — разрешающая способность анализатора) практически достигает уровня сигнала (оценивать ее при $\Delta f < \Delta f_p$ не имеет смысла, так как этот интервал частот не будет разрешаться акустооптическим анализатором).

Следовательно, при создании анализаторов необходимо применять специальные меры по устранению помехи. Так как помеха существует в те же моменты времени, что и полезный сигнал, то она устранима только путем частотной фильтрации. Этого можно добиться, если $\Delta f_p^2 \geq 0,88\gamma$ или же $\gamma \leq \Delta f_p^2/0,88$.

Приведенные на рис. 2 результаты экспериментальных исследований подтверждают возможность устранения помехи путем использования на выходе фотоприемника фильтра нижних частот, полоса среза которого $f_c \approx 0,44\gamma/\Delta f_p$. Исследованный анализатор имел разрешающую способность $\Delta f_p = 67$ кГц. На его вход подавались два гармонических сигнала, отличающиеся по частоте на указанную величину. На рис. 2, а показан случай применения широкополосной системы регистрации, установленной на выходе фотоприемника (полоса пропускания составляла 1 МГц). Видна помеха, сильно искажающая спектральное распределение. Затем на выход фотоприемника подключался полосовой фильтр с центральной частотой 67 кГц, позволивший выделить только мешающий сигнал (см. рис. 2, б). На рис. 2, в приведен выходной сигнал анализатора с фильтром нижних частот ($f_c = 33$ кГц). Хотя при этом удается избавиться от помехи, но увеличение скорости анализа $\gamma > 5 \cdot 10^3$ МГц/с приводит к ухудшению разрешающей способности. Это связано с тем, что за счет фильтрации в выходном сигнале ослабевает вклад высокочастот-

ных составляющих его спектра и выходной сигнал расширяется. На рис. 3 представлена зависимость, характеризующая ухудшение разрешающей способности $\Delta f/\Delta f_{\text{ном}}$ при увеличении скорости анализа $\gamma/\gamma_{\text{ном}}$ ($\Delta f_{\text{ном}}$ и $\gamma_{\text{ном}}$ — разрешающая способность анализатора и скорость анализа, исходя из которых определена частота среза f_c фильтра нижних частот). Из этой зависимости следует, что увеличение скорости анализа в 1,5 раза по сравнению с номинальной влечет за собой ухудшение разрешающей способности в 2 раза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Есепкина Н. А., Аксенов Е. Т., Григорьев В. А., Прусс-Жуковский С. В. Акусто-оптический анализатор спектра радиосигналов.— Проблемы голографии, 1975, вып. 5.
2. Grumly C. Sweeping Spectrum Analyser.— USA Pat. N 3942109, 1976.
3. Крупицкий Э. И., Сергеев Т. Н., Яковлев В. И. Оптико-акустические спектроанализаторы радиосигналов.— В кн.: Голография и обработка информации/Под ред. С. Б. Гуревича. Л.: Наука, 1976.
4. Ламберт Л. Оптическая корреляция.— В кн.: Современная радиолокация/Под ред. Ю. Б. Кобзарева. М.: Сов. радио, 1969.

Поступило в редакцию 20 февраля 1978 г.

УДК 681.325 : 621.378.9

Б. И. БОГАЧЕВ, В. В. ВОЛКОВ, А. А. ЖДАНОВ,
А. В. РАКОВ

(Москва)

КОРРЕКЦИЯ АБЕРРАЦИЙ ОБЪЕКТИВА ДЛЯ УСТРОЙСТВА ЗАПИСИ ГОЛОГРАММ

В литературе [1—8] имеется описание ряда голографических ЗУ с повышенной надежностью и большим сроком хранения. Наряду с этим, ГЗУ обладают более высоким быстродействием по сравнению с ЗУ на подвижных магнитных носителях.

В настоящее время возможна реализация архивных ГЗУ, емкость которых определяется в основном геометрическими и оптическими параметрами объективов записи и считывания. Анализ известных оптических систем показывает, что наиболее целесообразными являются системы считывания, у которых отдельный блок памяти (кассета с запоминающей средой) содержит 10^8 бит информации. ГЗУ, содержащее 10^9 — 10^4 кассет, будет иметь емкость памяти 10^{11} — 10^{12} бит. Работа такого ГЗУ требует создания устройства для записи информации в кассету голограмм. Основным недостатком известной оптической системы записи [7] является то, что в ней необходимо применять объектив большого диаметра и светосилы, свободный от aberrаций. Подобные объективы серийно не выпускаются, а их расчет и изготовление требуют больших затрат.

Цель настоящей работы — создание устройства голографической записи на основе серийно выпускаемых объективов с использованием метода голографической коррекции сферической aberrации.

Коррекция оптической системы. Наиболее приемлемой оптической схемой следует считать схему, показанную на рис. 1, где 1 — световой поток, 2 — объектив записи, 3 — формирователь страниц, 4 — устройство перемещения формирователя страниц и регистрирующей среды, 5 — регистрирующая среда, 6 — опорный пучок. Объем записываемой информации без учета aberrаций зависит в основном от геометрических параметров данного объектива [7, 8]. Размер голограммы с учетом сферической aberrации можно записать в виде

$$a' = a + \sigma_2' = a + \Delta s_2 D' / (f_{\text{оап}} + \Delta s_2'), \quad (1)$$

где a — размер голограммы при безaberrационном объективе, D' — рабочий диаметр объектива записи, $\Delta s_2'$ — продольная сферическая aberrация, σ_2' — поперечная сферическая aberrация, $f_{\text{оап}}$ — фокусное расстояние объектива записи. Общий объем памяти ЗУ с учетом сферической aberrации

$$N = \frac{(S - B)^2 D^2}{(2,7\lambda f_{\text{оап}} + Dd)^2} C \frac{1}{K^2}. \quad (2)$$