

териала на цикличность показала, что данное автоматическое устройство записи дает возможность осуществлять перезапись голограмм. После 10 циклов перезаписи дифракционная эффективность голограмм составляла $\eta_{10}=3,5\%$ (пространственная частота $R=500\text{ мм}^{-1}$), после 30 циклов — $\eta_{30}=3,3\%$. С помощью данного устройства была выполнена запись голограмм Френеля; восстановленное изображение показано на рис. 4. Запись голограмм Фурье исследована ранее в работе [4].

Экспериментальные работы подтвердили работоспособность, надежность устройства и показали, что устройство позволяет проводить весь цикл регистрации голограмм на ТПН. Необходимость разработки описанного устройства вызвана тем, что ТПН в настоящее время уже выпускается опытными партиями, а аппаратура регистрации информации на ТПН еще не производится серийно. Разработанное устройство

2. Кувшинский Н. Г., Баженов М. Ю., Соколов Н. И. Голографическая регистрация на термопластических средах. — В кн.: Материалы 7-й Всесоюз. школы по голографии. Л.: изд. ЛИЯФ, 1975.
3. Комаров В. А. и др. Регистрация оптической информации на фототермопластический носитель с гибкой лавсановой основой. — ЖНиПФиК, 1977, т. 22, № 2.
4. Комаров В. А. и др. Запись документальной информации на термопластические носители. — В кн.: Фундаментальные основы оптической памяти и среды. Киев: Вища школа, 1978, вып. 9, с. 139—143.

*Поступило в редакцию 2 октября 1979 г.;
окончательный вариант — 12 ноября 1980 г.*

УДК 621.378

А. А. КАСТОРНОВ
(Новосибирск)

ИССЛЕДОВАНИЕ АМПЛИТУДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КВАНТОВОГО УСИЛИТЕЛЯ ЯРКОСТИ ИЗОБРАЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ РАСТВОРА РОДАМИНА 6Ж В ЭТАНОЛЕ

При создании усилителя яркости изображения с использованием оптического квантового усилителя (ОКУ) на красителе возникает задача измерения его динамического диапазона, определяемого уровнем спонтанных шумов ОКУ и насыщением усиления в красителе. Это измерение необходимо для определения области линейного усиления в ОКУ, его максимального энергетического выхода и оценки величины контраста изображения. Кроме того, зная амплитудную характеристику ОКУ, нетрудно оптимизировать (при заданных геометрических размерах канала усиления) величину энергии накачки ОКУ.

Измерение динамического диапазона ОКУ на красителе проведено на установке, схема которой показана на рис. 1. Здесь 1 — лазер на красителе (родамин 6Ж в этаноле). Накачка кюветы с красителем поперечная и осуществляется второй гармоникой лазера на рубине; длительность импульса накачки $\tau_n=25$ нс, объем возбуждаемой области красителя в усилителе $0,3 \times 0,5 \times 6$ мм³. Входной сигнал, пройдя через кювету усилителя с раствором невозбужденного красителя 4, диафрагмы 3, 5 и светоделительную пластинку 6, регистрируется с помощью фотоэлемента ФК-19 9 и осциллографа 10. Амплитуда электрического импульса с фотоэлемента измеряется осциллографом С1-11. При накачке усилителя регистрируется величина усиленного сигнала. Ослабление усиленного сигнала, поступающего на фотоэлемент, осуществляется набором нейтральных калиброванных светофильтров 8. По величине ослабления, получаемого с помощью этих светофильтров, и отношению электрических сигналов, снимаемых с фотоэлемента 9 без накачки и с накачкой усилителя 4, определяем величину усиления квантового усилителя при максимальном входном сигнале. При этом вводится поправка на поглощение входного сигнала раствором невозбужденно-го красителя 4. Уменьшая величину входного сигнала с помощью набора нейтраль-

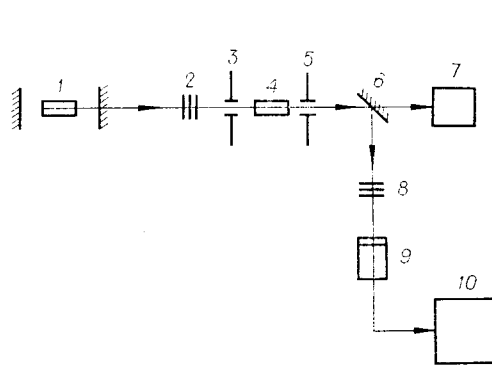


Рис. 1.

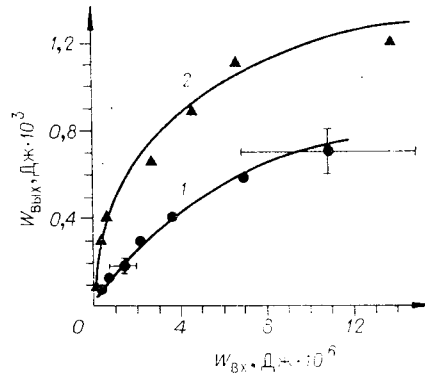


Рис. 2.

ных калиброванных светофильтров 2 и измеряя соответственно энергию усиленных импульсов, получаем амплитудную характеристику ОКУ. Измерение энергии усиленных импульсов проводилось с помощью прибора ИМО-2 7. Энергия импульса находилась усреднением по серии, состоящей из 5 импульсов, следующих с частотой 1 Гц. Результат измерения представлен в виде графика (рис. 2). Кривая 1 получена при энергии накачки $W_n = 18 \cdot 10^{-3}$ Дж, кривая 2 — при $W_n = 29 \cdot 10^{-3}$ Дж. Точность измерения входной энергии $\approx 40\%$, выходной — $\approx 16\%$.

Как следует из графика, при энергии входного сигнала $W_{вх} \approx 5 \cdot 10^{-6}$ Дж становится существенной нелинейность усилителя (при этом начальный коэффициент усиления падает в 2 раза). Этой величине входной энергии соответствует энергия выхода $W_{вых} \approx 0,5 \cdot 10^{-3}$ Дж, что совпадает с оценкой для плотности насыщающей энергии в стационарном режиме усиления. Действительно, в нашем случае измеренная длительность входного импульса ($\tau_n \approx 20$ нс) больше характерных времен релаксации инверсной населенности и поляризации активной среды [1] и процесс усиления бегущей волны в ОКУ соответствует квазистационарному приближению [2]. С учетом граничного условия $J(z=0) = J_{вх}$ и малости неселективных потерь $\alpha \ll k_0$ получаем для амплитудной характеристики ОКУ выражение

$$z(k_0 - \alpha) = \ln(J/J_{вх}) + (1/\alpha) \ln[(J_{\max} - J_{вх}) / (J_{\max} - J)]. \quad (1)$$

Здесь J — интенсивность усиливаемого сигнала; k_0 — начальный коэффициент усиления активной среды ОКУ; $J_{\max} = J_0 k_0 / \alpha$ — максимальное значение интенсивности усиливаемого сигнала при $z \rightarrow \infty$ (z — текущая координата вдоль оси ОКУ); $J_0 = hv / 2\sigma T_1$ — насыщающая интенсивность усиливаемого сигнала (σ — сечение вынужденного испускания, hv — энергия фотона, T_1 — характерное время релаксации инверсной населенности активной среды); α — коэффициент неселективных потерь.

Оценку насыщающей энергии найдем по формуле $W_{нас} = \tau_n J_0$, где τ_n — длительность входного импульса; при $hv = 3,4 \cdot 10^{-20}$ Дж, $\tau_n = 20$ нс и типичных для раствора родамина 6Ж в этаноле значениях $\sigma \approx 1,5 \cdot 10^{-20}$ м² и $T_1 \approx 4$ нс получаем $W_{нас} \approx 7 \cdot 10^{-3}$ Дж/см². Эта величина удовлетворительно совпадает со значением энергии насыщения, определенной из графика (см. рис. 2), где значения усреднены по площади апертурной диафрагмы $\varnothing 2$ мм.

Результаты измерения амплитудной характеристики позволяют с помощью (1) оценить необходимую длину ОКУ, что важно при построении широкоапертурных усилителей яркости изображения. При измеренных значениях $k_0 = 16$ см⁻¹, $\alpha \leq 3$ см⁻¹, $J_0 \approx 300$ кВт/см² и заданных $J_{вх} = 100$ Вт/см², $J = 10^3 J_{вх}$ будем иметь $z = 5,5$ мм. При достижении предельного значения коэффициента усиления для родамина 6Ж в этаноле ($k_0 \approx 50$ см⁻¹) апертура усилителя увеличивается, так как соответствующая длина усилителя (при заданных значениях $J_{вх} = 100$ Вт/см² и $J = 10^3 J_{вх}$) уменьшается до величины $z = 2$ мм. Таким образом, полученная амплитудная характеристика ОКУ позволяет оптимизировать и геометрию усилителя.

Энергия спонтанного шума на выходе ОКУ в угле $\approx 4 \cdot 10^{-4}$ ср (вдоль оси усилителя) измерялась с помощью фотоэлемента и осциллографа методом сравнения с известным по величине входным оптическим сигналом и составляла величину $W_{ш} \approx 2 \cdot 10^{-6}$ Дж. Для сопоставления измеренного уровня спонтанного шума с расчетным использовалась известная оценка:

$$W_{ш} = \tau_n A (hv N_2 / T_1) (\Delta\Omega / 4\pi) ((G - 1) / k_0), \quad (2)$$

где $W_{ш}$ — энергия спонтанного шума на выходе ОКУ, A — поперечное сечение ОКУ, N_2 — населенность верхнего уровня, G — однопроходное усиление ОКУ, k_0 — начальный коэффициент усиления, τ_n — длительность импульса накачки, $\Delta\Omega$ — элементарный телесный угол, в котором измеряется энергия спонтанного излучения, T_1 — время релаксации инверсной населенности активной среды. Для данного случая при

$N_2 \approx 10^{13}$ 1/см³, что соответствует режиму линейного усиления, $h\nu = 3,4 \cdot 10^{-20}$ Дж, $T_1 = 4$ нс и при измеренных значениях $G = 5 \cdot 10^8$, $k_0 = 16$ см⁻¹, $\Delta\Omega = 4 \cdot 10^{-4}$ ср, $A = 0,3 \cdot 0,5 \cdot 10^{-2}$ см², $\tau_n = 25$ нс формула (2) дает величину $W_m = 4 \cdot 10^{-6}$ Дж, что достаточно удовлетворительно согласуется с измеренным значением W_m .

Таким образом, применение данного метода измерения динамического диапазона ОКУ позволило установить предельные значения основных параметров ОКУ изображения на основе раствора родамина 6Ж в этаноле.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лазеры на красителях/Под ред. Ф. Л. Шефера. М.: Мир, 1978.
2. Ханин Я. Ч. Динамика квантового генератора. М.: Сов. радио, 1973. Т. 2.
3. Ярив А. Квантовая электроника и нелинейная оптика. М.: Сов. радио, 1973.

Поступило в редакцию 22 июня 1979 г.;
окончательный вариант — 26 ноября 1979 г.

УДК 681.3

М. Н. ГОЛУБКОВА, Е. Ф. ОЧИН
(Ленинград)

БИНАРНЫЙ СИНТЕЗ КОМПЛЕКСНЫХ ОПЕРАЦИОННЫХ ФИЛЬТРОВ ДЛЯ КОГЕРЕНТНОГО ОПТИЧЕСКОГО ПРОЦЕССОРА

Основным операционным блоком аналогового когерентного оптического процессора является пространственно-частотный фильтр, выполняющий функцию амплитудно-фазовой модуляции фурье-образа входного изображения. В общем виде передаточная функция такого фильтра описывается выражением

$$H(\xi, \eta) = a(\xi, \eta) \exp[-i\varphi(\xi, \eta)], \quad (1)$$

где ξ, η — пространственные частоты, $a(\xi, \eta)$ — функция амплитудной модуляции, $\varphi(\xi, \eta)$ — функция фазовой модуляции.

Осуществляя дискретизацию и ступенчатую аппроксимацию передаточной функции (1) в пределах ограниченной полосы пропускания процессора ($|\xi| \leq \xi_{\max}$, $|\eta| \leq \eta_{\max}$), преобразуем (1) к виду

$$H_1(\xi, \eta) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N a_{mn} e^{-i\varphi_{mn}} \operatorname{rect} \left[\frac{\xi - \Delta\xi \left(m - \frac{M+1}{2} \right)}{\Delta\xi} \right] \times \\ \times \operatorname{rect} \left[\frac{\eta - \Delta\eta \left(n - \frac{N+1}{2} \right)}{\Delta\eta} \right]. \quad (2)$$

Здесь $\Delta\xi, \Delta\eta$ — шаги дискретизации, являющиеся величинами, обратными соответствующим размерам входной апертуры процессора; $M = 2 \xi_{\max} / \Delta\xi$; $N = 2 \eta_{\max} / \Delta\eta$.

Фильтр, имеющий передаточную функцию (2), принципиально может быть реализован в виде двух плотно прилегающих друг к другу фильтров (амплитудного и фазового). Такой фильтр назовем «идеальным». Однако необходимость точной взаимной юстировки амплитудного и фазового фильтров затрудняет его физическую реализацию.

В работе [1] предложено каждую ячейку фильтра (2) размером $\Delta\xi \times \Delta\eta$ заменить прозрачным прямоугольным элементом размером $b\Delta\xi \times c\Delta\eta$ ($0 \leq b, c \leq 1$) на фоне непрозрачной ячейки размером $\Delta\xi \times \Delta\eta$. При этом элемент смещен относительно центра ячейки на величину $p\Delta\xi$ в направлении одной из координат. В результате такой процедуры, которую называют бинарным синтезом, передаточная функция фильтра примет вид

$$H_2(\xi, \eta) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \operatorname{rect} \left[\frac{\xi - \Delta\xi \left(m - \frac{M+1}{2} \right) - \Delta\xi p_{mn}}{b_{mn} \Delta\xi} \right] \times \\ \times \operatorname{rect} \left[\frac{\eta - \Delta\eta \left(n - \frac{N+1}{2} \right)}{c_{mn} \Delta\eta} \right]. \quad (3)$$