

М. В. ДЕРЕЛОВСКИЙ, В. В. ЛЫСАК, Е. К. ШМАРЕВ

(Киев)

МАГНИТООПТИЧЕСКИЙ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ
МОДУЛЯТОР СВЕТА

В предлагаемой статье приводятся результаты исследования магнитооптического пространственно-временного модулятора света (ПВМС) с электронно-лучевой термомангнитной записью сигналов на гибкий подвижный носитель (пленку CrO_2), находящийся вне вакуума.

На рис. 1 представлена схема двумерного магнитооптического спектроанализатора, используемого с системой электронно-лучевой записи сигналов. Запись анализируемой информации проводится электронным лучом на магнитной ленте, движущейся со скоростью V . Зарегистрированная сигналограмма поступает в плоскость магнитооптического кристалла и локально перемагничивает структуру его магнитных доменов в соответствии со структурой остаточной намагниченности носителя. Считывание осуществляется монохроматической плоской волной ($\lambda = 0,63 \text{ мкм}$) с линейной поляризацией. Результат спектрального анализа после фильтрации сигнала поляридом и выполнения Фурье-преобразования регистрируется на экране монитора. Диапазон исследуемых частот определяется скоростью движения ленты, частотой развертки электронного луча и размером участка носителя, нагретого до температуры Кюри ($T_c = 120^\circ\text{C}$). При этом магнитная лента вводится под действие электронного луча через специально выполненный шлюз. Рабочий участок носителя ограничивается размерами щели ($10 \times 0,5 \text{ мм}$), через которую сфокусированный электронный луч попадает на ферромагнитный слой пленки. Вакуум в рабочем объеме электронно-лучевой системы обеспечивается непрерывной работой механического (ВН-461) и диффузионного (Н1-С-2) насосов и был не хуже $6,7 \cdot 10^{-3} \text{ Па}$ в течение всего времени работы. Время смены магнитной ленты и выхода на рабочий режим 5 мин.

Поскольку скорость и характер распределения температуры в носителе зависят от многих факторов, например от скорости записи, закона распределения плотности тока пучка, материала и структуры носителя, в проводимых работах выбор параметров трубки для достижения требуемого разрешения при реальных характеристиках электронно-лучевой системы выполнен на основании решения задач нестационарной теплопроводности по разработанной теплофизической модели (рис. 2) процесса термомангнитной записи электронным пучком на магнитной ленте. Если предположить, что условия распространения тепла в глубину носителя и по его поверхности одинаковы, глубина проникновения электронов d намного меньше толщины ферромагнитного слоя ленты и плотность тока записывающего пучка распределена по гауссову закону, то требуемая мощность электронного пучка P при заданном разрешении R

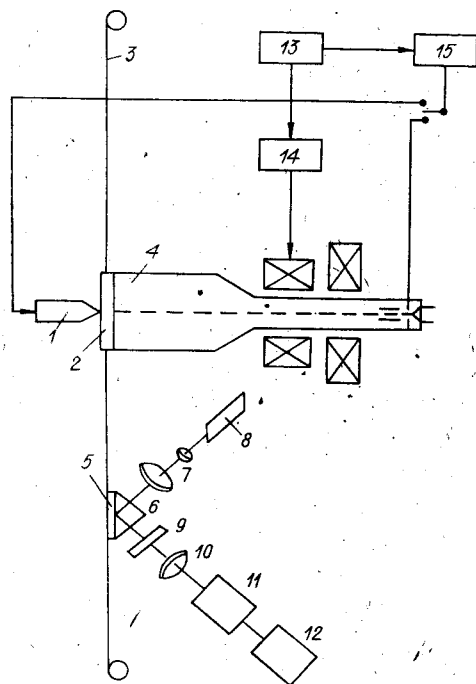


Рис. 1. Схема двумерного магнитооптического спектроанализатора с системой термомангнитной записи:

1 — магнитная головка, 2 — шлюз, 3 — магнитный носитель, 4 — электронно-лучевая трубка, 5 — магнитооптический кристалл, 6 — призма, 7 — коллиматор, 8 — лазер, 9 — поляридом, 10 — Фурье-объектив, 11 — камера, 12 — монитор, 13 — блок синхронизации, 14 — блок развертки, 15 — источник сигналов.

параметров трубки для достижения требуемого разрешения при реальных характеристиках электронно-лучевой системы выполнен на основании решения задач нестационарной теплопроводности по разработанной теплофизической модели (рис. 2) процесса термомангнитной записи электронным пучком на магнитной ленте. Если предположить, что условия распространения тепла в глубину носителя и по его поверхности одинаковы, глубина проникновения электронов d намного меньше толщины ферромагнитного слоя ленты и плотность тока записывающего пучка распределена по гауссову закону, то требуемая мощность электронного пучка P при заданном разрешении R

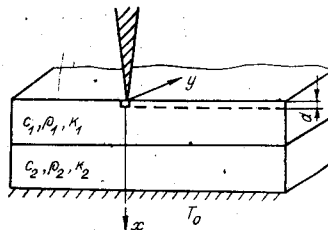


Рис. 2. Теплофизическая модель термомангнитной записи электронным пучком на магнитной ленте:

1 — ферромагнитный слой, 2 — подложка ленты.

описывается выражением

$$P = \frac{3(T_c - T_0) d \rho_1 c_1 \sum_{m=1}^M \exp(R_m^2 / 2m\sigma^2)}{2 \left[F\left(\frac{d+R}{\sqrt{2a^2\sigma R/V_0}}\right) + F\left(\frac{d-R}{\sqrt{2a^2\sigma R/V_0}}\right) \right]}$$

где $0 \leq R_m \leq \sigma$; $a = k_1/\rho_1 c_1$; $F(s) = (1 + s^2)\Phi(s) + s^2/\sqrt{2\pi} \exp(-s^2/2) - s^2/2$; $\Phi(s) = = 1/\sqrt{2\pi} \int_0^s \exp(-t^2/2) dt$ — интеграл ошибок; V_0 — скорость движения электронного луча; T_0 — температура теплопроводящей подложки; ρ_1 — плотность носителя; c_1 — удельная теплоемкость носителя; k_1 — коэффициент теплопроводности носителя; σ — степень размытости кривой распределения плотности тока на уровне 0,5; R — размер элемента записи; M — количество задаваемых отсчетов по кривой распределения плотности тока.

В исследуемом макете проводилась обработка как аналоговых сигналов, так и сигналов, представленных в дискретной форме в диапазоне частот от 800 Гц до 20 кГц. При этом реализованы два способа регистрации информации на носителе: запись модуляцией магнитного поля записывающей головки и запись модуляцией величины тока электронного луча. В обоих случаях сканирование электронного луча происходило вдоль зазора магнитной головки.

На рис. 3, а, б показаны магнитные штрихи, полученные при записи в постоянном поле проводниковой магнитной головки. Частота сканирования электронного луча $f_p = 50$ Гц, скорость движения ленты $V = 1$ см/с, ток записи $I = 15$ мкА и ускоряющее напряжение $U = 10$ кВ. В качестве визуализирующего элемента использовались магнитооптические кристаллы Вi-содержащего феррограната с намагниченностью насыщения $4\pi M_s \sim 100$ Гс и периодом stripe-структуры 15 мкм. Поскольку перпендикулярная составляющая остаточной намагниченности носителя имеет два направления, обусловленные магнитной ориентацией ленты, то штрихи записи визуализируются в виде двух (светлой и темной) зон.

На рис. 4, а, б приведен пример записи модулированного сигнала. В данном случае модулировалось магнитное поле головки по синусоидальному закону с ча-

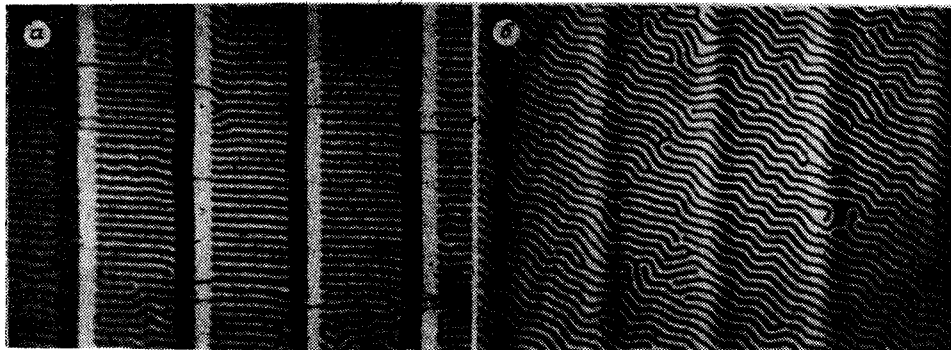


Рис. 3. Запись в постоянном магнитном поле:

а — режим полного перемагничивания; б — режим аналоговой визуализации.

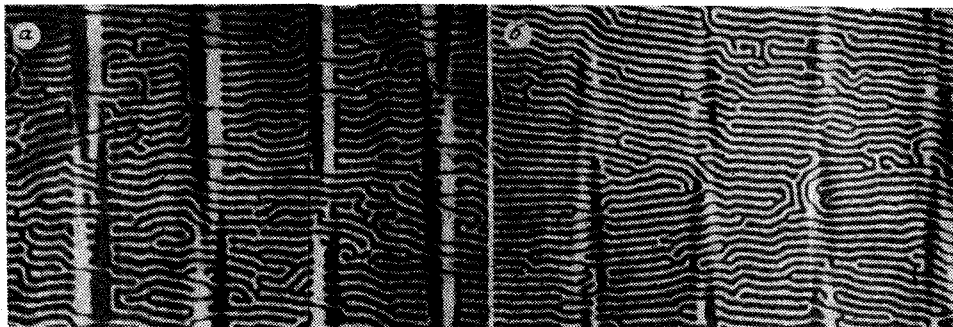


Рис. 4. Запись модуляцией магнитного поля головки:

а — режим полного перемагничивания; б — режим аналоговой визуализации.

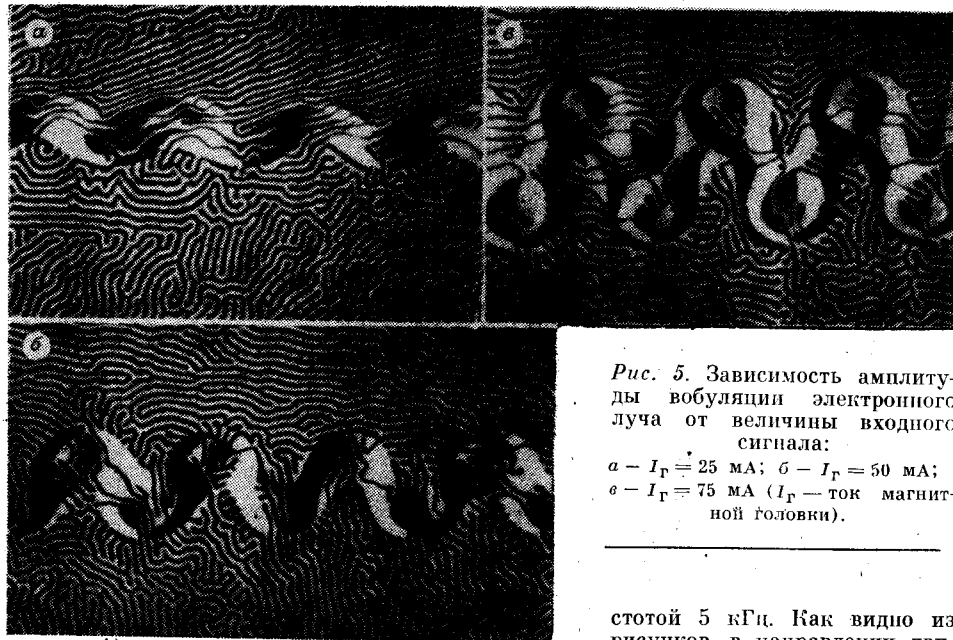


Рис. 5. Зависимость амплитуды модулирующего электронного луча от величины входного сигнала:

a — $I_r = 25$ мА; *б* — $I_r = 50$ мА;
в — $I_r = 75$ мА (I_r — ток магнитной головки).

редование светлых и темных зон, соответствующих изменению во времени направления перпендикулярной составляющей остаточной намагниченности носителя.

Наряду с режимами полного перемагничивания магнитооптического кристалла (см. рис. 3, *a*, 4, *a*), для термомагнитного способа записи получены результаты по аналоговой визуализации сигнала [1]. Здесь поле магнитной сигналограммы, действуя на кристалл, приводит к локальному изменению соотношения ширины доменов с взаимно противоположной ориентацией намагниченности (см. рис. 3, *б*, 4, *б*). Этот режим визуализации обеспечивает возможность обработки аналоговых сигналов и полутонных изображений, записанных термомагнитным способом.

Описанному выше методу регистрации сигналов присущи искажения записи, вызванные влиянием поля магнитной головки на электронный луч. У поверхности носителя происходит возбуждение электронного пучка записывающим полем. Причем направление и амплитуда дополнительного отклонения пропорциональны соответственно направлению и величине магнитного поля. На рис. 5, *a* — *в* показана зависимость амплитуды возбуждения электронного луча от величины подаваемого на магнитную головку сигнала. Запись проводилась при неподвижном пучке, скорости движения ленты $V = 10$ см/с и частоте сигнала $f_c = 500$ Гц. Как видно из рис. 6 (запись синусоидального сигнала частотой 20 кГц), это может привести к тому, что в результате модуляции скорости развертки луча регистрируемым сигналом происходит нежелательная перезапись информации. Поэтому при реализации описанного выше метода регистрации информации необходимо с целью устранения искажений подавать на систему отклонения луча записываемый сигнал соответствующей фазы и амплитуды.

Для анализа одномерного электрического сигнала в макете спектроанализатора реализован метод свернутого спектра [2], позволяющий наиболее полно использовать площадь входного транспаранта и тем самым значительно увеличивать базу обрабатываемого сигнала. В случае записи импульсного сигнала (изменялась величина тока электронного луча) входное изображение, поступающее в тракт обработки, представляет собой решетку, пространственный период и форма которой определяются соотношением между частотой сигнала f_c , разверткой электронного луча f_p и скоростью движения магнитной ленты (рис. 7, *a*, *в*). При изменении частоты исследуемого сигнала от f_{min} до f_{max} дифракционные порядки в выходной плоскости

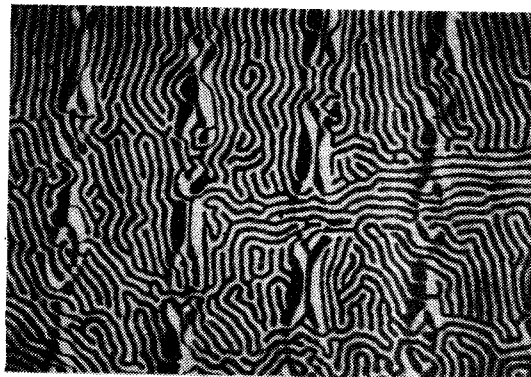
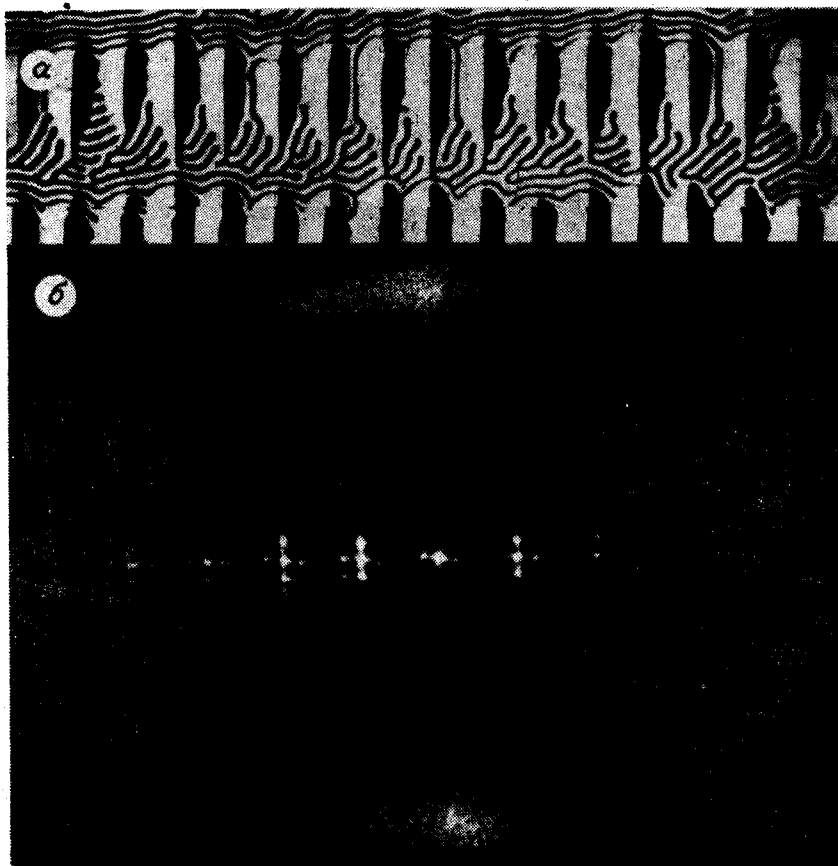


Рис. 6. Визуализация характера искажений входного сигнала.



спектроанализатора (рис. 7, б) перемещаются, формируя выходной растр. Переход каждого дифракционного порядка с одной строки на другую происходит по оси частот в момент, когда $f_c = n f_p$, где n — номер предыдущей строки. Разрешающая способность спектроанализатора оценивалась в соответствии с методом спектрального анализа по Томасу [3] по соотношению

$$f = f_c - n f_p,$$

где f — частота «тонкой» структуры спектра, определяемая положением дифракционного пятна на строке выходного растра (рис. 7, а). При этом основную погрешность в определение точной частоты обрабатываемого сигнала вносит нестабильность лентопротяжного механизма (ЛПМ) и развертки электронного луча. В исследуемом макете спектроанализатора при размерах входной апертуры 4×5 мм и элемента записи 50 мкм разрешающая способность спектроанализатора в исследуемом диапазоне частот составляла $2,7 \cdot 10^3$ точек. При увеличении входной апертуры до 10×20 мм и уменьшении элемента записи до 10 мкм разрешение в том же диапазоне частот может достигать $1,3 \cdot 10^5$ точек.

Таким образом, полученные результаты показали, что система оптической обработки информации, в основу которой положен магнитооптический ПВМС с системой электронно-лучевой термомагнитной записи, может успешно применяться для обработки дискретных и аналоговых сигналов в достаточно широком диапазоне частот. При этом для наиболее полного использования достоинств термомагнитной записи на подвижном носителе и метода магнитооптической визуализации представляется перспективным применение магнитных пленок с ориентацией, соответствующей способу визуализации обрабатываемой информации (например, носителей с ориентацией, перпендикулярной плоскости ленты, или изотропных пленок).

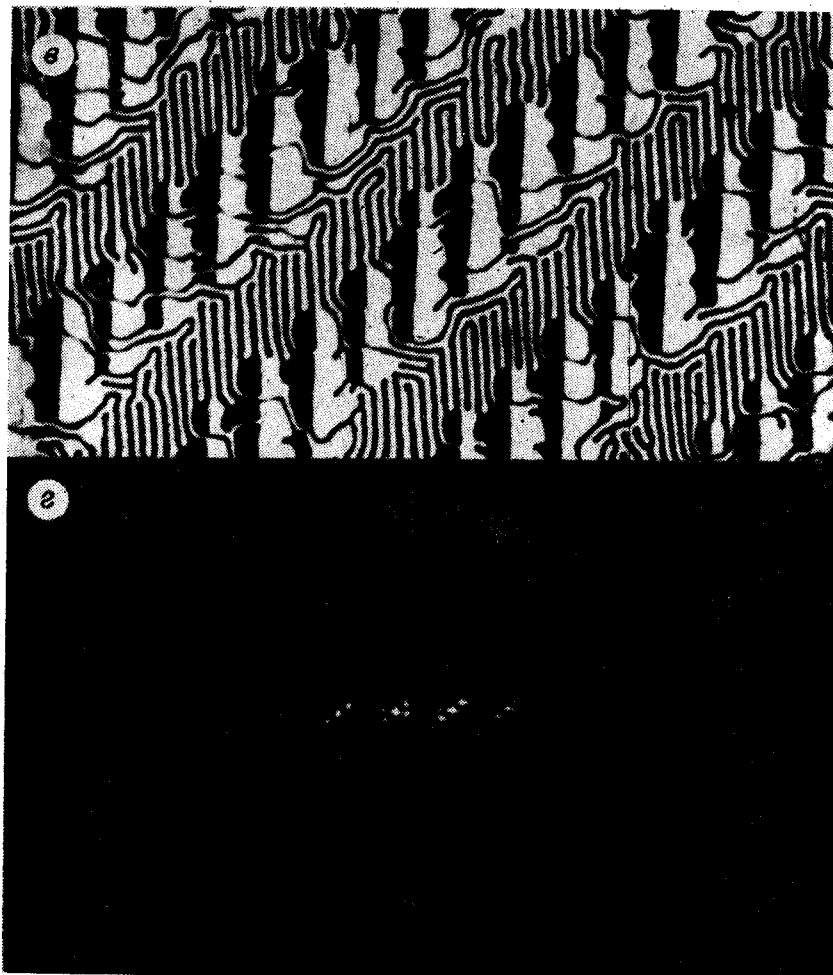


Рис. 7. Результаты обработки импульсного сигнала:
 а, б — $f_c = 8000$ Гц; $f_p = 200$ Гц; в, г — $f_c = 7970$ Гц; $f_p = 200$ Гц.

ЛИТЕРАТУРА

1. Куземко В. И. и др. Магнитооптический спектроанализатор с частотной коррекцией.— В кн.: Тез. докл. на IV Всесоюз. школе по оптической обработке информации. Минск, 1982, с. 343.
2. Thomas C. E. Optical spectrum analysis of large space-bandwidth signals.— J. Appl. Opt., 1966, vol. 36, N 5, p. 1782.
3. Юу Ф. Т. С. Введение в теорию дифракции, обработку информации и голографию.— М.: Мир, 1979.

*Поступило в редакцию 25 ноября 1983 г.;
 окончательный вариант — 18 июня 1984 г.*

УДК 535.853 : 681.142

И. Г. ЕРИН, Д. В. ЯКОВИН
 (Новосибирск)

БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЙ КОРРЕЛЯТОР ФОТОНОВ

В работах, связанных с исследованием веществ или процессов в них, методами светорассеяния обычно измеряют младшие статистические моменты двумерной функции распределения вероятностей флуктуаций рассеянного света, т. е. средние значения и функции корреляции (или фурье-трансформанту функции корреляции —