

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
СИСТЕМЫ И ЭЛЕМЕНТЫ
МАГНИТООПТИЧЕСКОЙ ПАМЯТИ

УДК 681.327.68 : 537.632

В. С. Соболев, А. М. Белкин, В. И. Несин, В. А. Жмудь, А. М. Щербаченко,
Б. В. Телицын, А. А. Столповский, А. М. Харин

(Новосибирск)

МАГНИТООПТИЧЕСКИЙ НАКОПИТЕЛЬ В МЕЖДУНАРОДНОМ
СТАНДАРТЕ

Представлены научно-технические решения, положенные в основу созданного в ИАиЭ СО РАН накопителя информации на магнитооптических дисках, его структурная схема и описание созданной элементной базы. Технические характеристики накопителя соответствуют Международному стандарту ISO/IEC 10089.

Введение. Основы реверсивной (стираемой) памяти заложены в 1975—1985 гг. [1—4], когда в качестве регистрирующей среды были предложены пленки «редкоземельный элемент — переходный металл», в частности TbFe. Запись на эти пленки осуществляется термомагнитным способом за счет локального разогрева небольшого участка пленки ($\sim 1 \text{ мкм}^2$) острогофокусированным лазерным лучом в присутствии перемагничивающего поля. Считывание проводится тем же излучением, только ослабленной мощности, и основано на эффекте Керра: поляризованный свет, отражаясь от намагниченного участка пленки, претерпевает небольшой (до $0,5^\circ$) поворот плоскости поляризации. Магнитооптические накопители существенно превосходят ЗУ на жестких дисках по емкости и сохраняют преимущества гибких дисков, позволяя накапливать неограниченные объемы информации в виде сменных кассет.

Передовые фирмы Японии и США уже осуществили первый промышленный выпуск МО-дисков и накопителей, однако это направление непрерывно развивается: ведется поиск более совершенных регистрирующих сред [5, 6], оптимизируются элементы и узлы накопителей [7, 8]. Подобные исследования проводятся также в России и на Украине. Разработана технология получения слоистых регистрирующих структур на основе пленок TbFe и Si_3N_4 с высокой стабильностью записываемых доменов [9]. Исследованы процессы взаимодействия импульсного лазерного излучения с магнитными пленками в режиме записи с учетом термоупругих напряжений [10, 11]. Создано устройство магнитооптической памяти высокого разрешения на цилиндрических носителях [12]. Исследованы пути оптимизации слоистых магнитооптических структур при условии сохранения постоянства мощности записи в регистрирующем слое [13]. Разработаны [14—16] прецизионные лазерные технологии форматирования мастер-дисков и изготовления киноформных элементов для магнитооптической памяти. В 1992 г. нами создан экспериментальный образец магнитооптического накопителя на отечественной элементной базе, удовле-

Входные биты	Канальные биты
10	0100
010	100100
0010	00100100
11	1000
011	001000
0011	00001000
000	000100

творяющий требованиям Международного стандарта ISO/IEC 10089.

Цель настоящей статьи — ознакомить специалистов с научно-техническими решениями, положенными в основу накопителя, его структурой и созданной элементной базой.

Структура МО-диска. В соответствии с Международным стандартом ISO/IEC 10089 на внутренней стороне пластмассового диска диаметром 130 мм отштампована спиральная дорожка с шагом 1,6 мкм, которая раскручивается от центра к периферии и имеет более 18 тыс. витков. Диск разбивается на 17 или 31 сектор по 1024 или 512 байтов данных пользователя соответственно.

Специфика оптической записи-считывания, состоящая в том, что сигналы чтения не имеют отрицательных значений, требует дополнительного так называемого канального кодирования: информация записывается на диске кодом ограниченной длины RLL (2,7) в соответствии с таблицей. Здесь каждый бит информации пользователя представлен двумя канальными битами и все богатство данных передается числом промежутков (нулей) от 2 до 7. В этом коде представляются как данные пользователя, так и служебная информация, отштампованная на дорожках диска.

Формат сектора объемом 1024 байта показан на рис. 1, где длины отдельных участков указаны в байтах пользователя. Заголовок сектора состоит из секторной метки (СМ), представляющей собой специально закодированную область из 10 канальных байт и служащей для опознавания начала сектора, затем следуют метки синхронизации (СИНХР), которые занимают 24 канальных байта. По окончании зоны синхронизации на дорожке записана адресная метка (АМ) — специальный код для опознавания начала адресного поля, составляющий два канальных байта. Далее следует идентификатор адресов и коды его контроля на четность (ИД + КК). Вслед за этим снова идут синхросигналы и еще 2 раза повторяется вся служебная информация. В заголовке расположена однобайтовая заключительная часть (ЗЧ), служащая для однозначного замыкания корректирующих кодов. Осциллограмма сигнала заголовка сектора представлена на рис. 2. Заголовок заканчивается так называемой зеркальной меткой (ЗМ) — участком без записи длиной 16 канальных бит, служащих для выявления смещения в системе слежения за дорожкой. Затем следует зазор без записи длиной 48 бит, флаг (80 бит), служащий для совместимости диска с форматом стандарта ISO-9171-2, снова зазор (48 бит) и область для проверки мощности записи «тест» (32 бита). После этого следует пользовательская часть

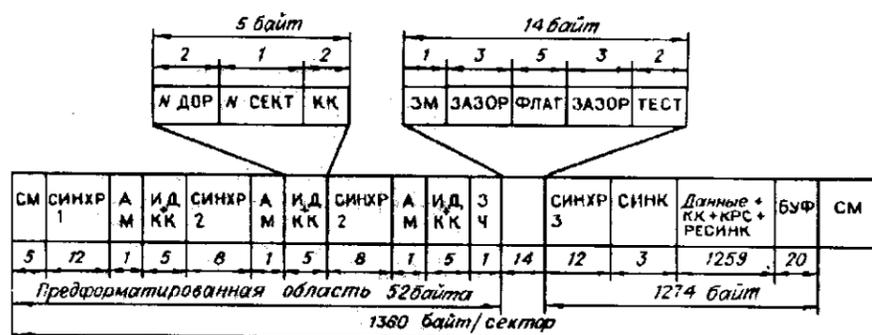


Рис. 1



Рис. 2

сектора. Она начинается зоной синхросигналов длиной 48 канальных бит, после которой идет поле данных пользователя, включающее в себя коды, синхронизирующие начало и окончание чтения СИНК и РЕСИНК, данные (1024 байта пользователя), контрольные коды (КК) и коды Рида — Соломона (КРС). Сектор заканчивается буферной зоной длиной 320 канальных бит.

Вдоль радиального направления диск разбивается на несколько зон. Самая близкая к центру — зона фазового кодирования — занимает область 29—29,5 мм и несет первичную информацию о параметрах диска.

Прочитанные нами данные сектора № 1 этой зоны с МО-диска фирмы 3М имеют вид:

Формат А, режим вращения CAV, способ модуляции RLL (2,7).
 Размер сектора 512, способ кодирования RS LDC (5 чередований).
 Количество секторов на треке 31.
 Базовая отражательная способность R (при $L = 825$ нм) 24 %.
 Полярность сигнала преформатирования данных отрицательная.
 Амплитуда сигнала преформатированных данных (I_p/I_0) 50 %.
 Информация записывается на фасках.
 Максимальная мощность при чтении зоны SFP 2.000 мВт.
 Тип носителя перезаписываемый.
 Начальный адрес внешней зоны SFP-дорожка № 18846.
 Данные поставщика: 3М 0x334DFF02.
 Данные сектора PEP корректны (CRC 0x6E верна).

Эту информацию МО-накопитель читает автоматически и подстраивает свои параметры под данный диск. Затем идут переходная зона и зона стандартного форматирования. Они занимают область 29,52—29,7 мм и несут более подробную информацию о диске, позволяя соответственно устанавливать требуемую мощность или длительность импульсов записи. Ниже показан фрагмент данных, прочитанных нами в стандартно форматированной зоне:

Кадр № 6 данных сектора SFP для длины волны лазера $L = 780$ нм и частоты вращения $N = 40$ Гц:

Базовая отражательная способность $R = 20\%$

P_w лазера при записи с постоянной мощностью 8,6 мВт

R , мм	30	45	50
Длительность импульса при записи с постоянной P_w	51	68	68 нс
Мощность лазера при стирании	10	10	10 мВт
Мах мощность при чтении зоны пользователя	2 мВт		

Затем идет несколько промежуточных зон: внутренняя зона изготовителя, полоса защиты, полоса для испытаний качества диска (29,7—29,9) мм и зона пользователя, которая занимает область 30—60 мм. После внешней зоны изготовителя снова повторяется стандартно форматированная зона (60,15—60,5 мм), за которой следует зона вывода (60,5—61,0 мм).

Структурно-функциональная схема МО-накопителя. Схема накопителя, построенного по модульному принципу, показана на рис. 3, где введены обозначения: Гр-сигналы — гравированные сигналы служебной информации, Фок — сигналы ошибки по фокусу, Дор — сигналы ошибки слежения за дорожкой. Контроллер накопителя выполнен в виде системной платы на основе микропроцессора 1810BM88 с периферией. Исполнительные модули и контроллер интерфейса SCSI в виде стандартных плат подключаются к шине контроллера. Состав основных узлов накопителя следующий: оптико-механический блок, включающий в себя вращательный и линейный приводы, каретку с двухкоординатным актюатором и микрообъективом, неподвижную часть оптической головки с поляризационной и светоделительной оптикой, фотоприемниками и предварительными усилителями; системный контроллер накопителя; аналого-импульсный преобразователь сигналов; система автоматической фокусировки и слежения за дорожкой; система позиционирования; модуль фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ); драйвер лазера; контроллер диска, кодек RLL (2,7); кодек Рида — Соломона; контроллер интерфейса SCSI.

Ниже представлены основные фазы работы накопителя: загрузка кассеты с диском, включение источника питания; включение системы автофокусировки и слежения за дорожкой; чтение данных зоны фазового кодирования (PEP-зоны) и самонастройка параметров накопителя под данный диск; перевод головки в стандартно форматированную зону; чтение данных стандартно форматированной зоны; грубое и точное позиционирование; установка мощности лазера для чтения или записи данных; чтение, запись или стирание файла; форматирование (решение задачи обхода дефектных зон).

Оптическая головка записи-считывания. Оптическая головка, схема которой представлена на рис. 4, а, состоит из двух частей: подвижной и неподвижной. Подвижная часть головки содержит поворотное зеркало (113) и фокусирующий микрообъектив (ФМО) [15], закрепленный на двухкоординатном электромагнитном актюаторе. Неподвижная часть содержит полупроводниковый лазер (ПЛ), трехлинзовый коллиматор, собирающий излучение лазера в параллельный пучок, и светоделительный кубик (СДК1). Выходящий из кубика пучок проходит поворотное зеркало и с помощью актюатора и микрообъектива фокусируется на активный слой диска. Указанные элементы образуют канал записи.

Отраженный от диска пучок света при чтении проходит тот же микрообъектив и через поворотное зеркало и СДК1 попадает на СДК2. Последние выполнены так, что практически весь свет S-поляризации и 75 % P-поляризации отражаются от ее грани и, проходя последовательно четверть- и полуволновую пластинки, попадают на поляризационный светоделительный кубик (ПК). Кубик изготовлен таким образом, что полностью пропускает

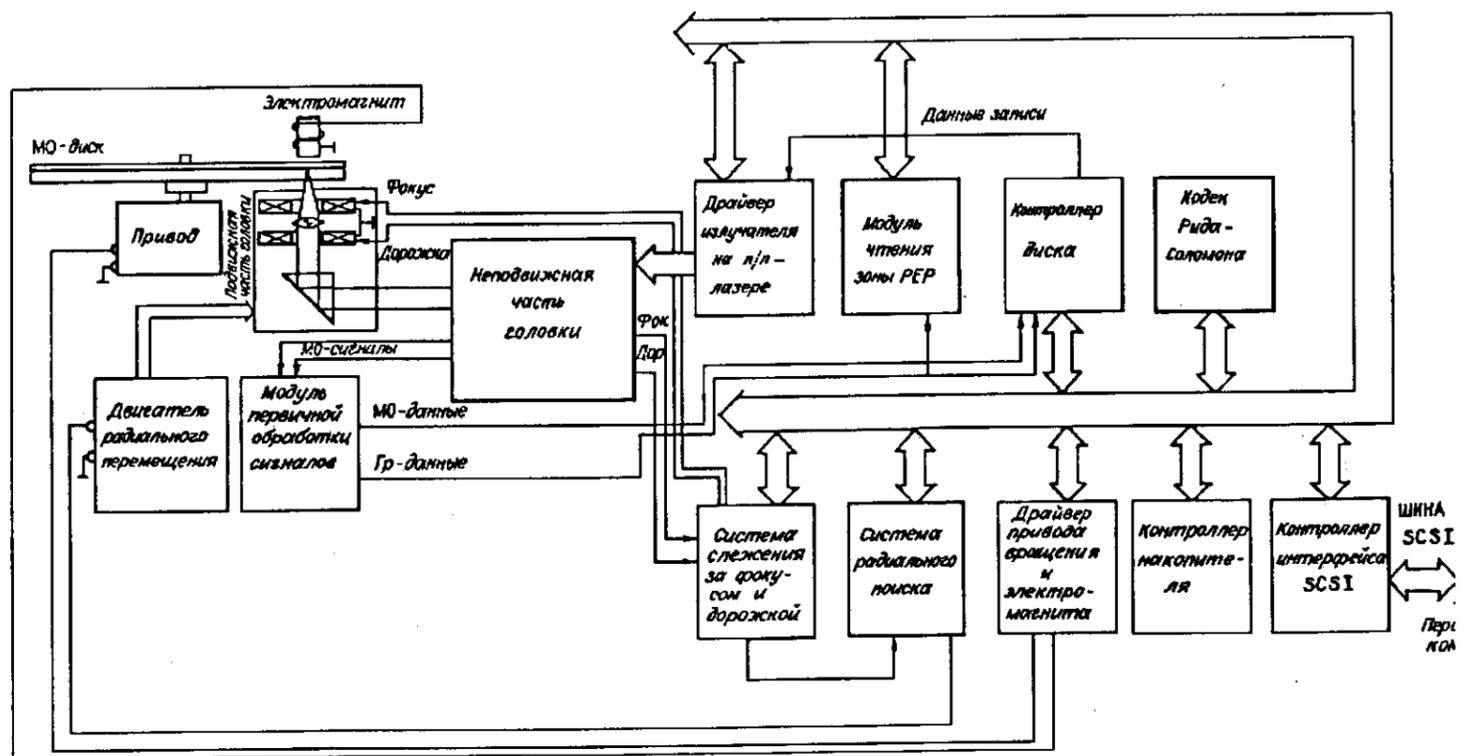


Рис. 3

компоненту P -поляризации и полностью отражает компоненту S -поляризации света. Выходящие из кубика пучки попадают на два лавинных фотодиода (ФДЛ1, 2), снабженных конденсорами (К1, 2). Эти элементы образуют тракт чтения накопителя. Четвертьволновая пластинка служит компенсатором эллиптичности отраженного пучка. Полуволновая пластинка введена для того, чтобы наилучшим образом установить плоскость поляризации отраженного света к осям поляризационного кубика. При чтении записанной единицы канального кода данных плоскость поляризации поворачивается на небольшой угол, в результате чего происходит перераспределение интенсивности света на выходах светоделительного кубика, что фиксируется лавинными фотодиодами. Анализ показывает, что наибольшая чувствительность получается при начальной установке плоскости поляризации отраженного света под углом 45° к осям ПК, как показано на рис. 4, *b*.

Пучок света, прошедший делительную пластинку, служит для получения сигналов ошибки в системах автоматической фокусировки и слежения за дорожкой. Датчик ошибок (ДО) фокусировки и слежения за дорожкой представляет собой многоэлементную линзу. Линза изготавливается путем разрезания и склеивания секторов обычной линзы или выполняется в виде киноформного элемента [17]. Сигнал расфокусировки при этом получается по методу ножа Фуко на фотодиодах ФД1, 2, как показано на рис. 4, *c*, а сигналы пересечения дорожек — на двух фотодетекторах матричного приемника (МП) от соответствующих частей разрезанной линзы. Осциллограммы сигналов ошибки по фокусу и сигнала пересечения дорожек до и после включения обратной связи показаны на рис. 5, *a—d* соответственно. Видно, что ошибки слежения имеют величину порядка $0,1$ мкм.

Отличительные особенности головки: эффективность при прохождении света в режиме записи более 30% , отношение сигнал/шум при чтении магнитооптического сигнала более 45 дБ. Этого удалось достичь за счет применения безастигматического полупроводникового лазера с симметричной индикатрисой излучения [18] (что позволило исключить дополнительные

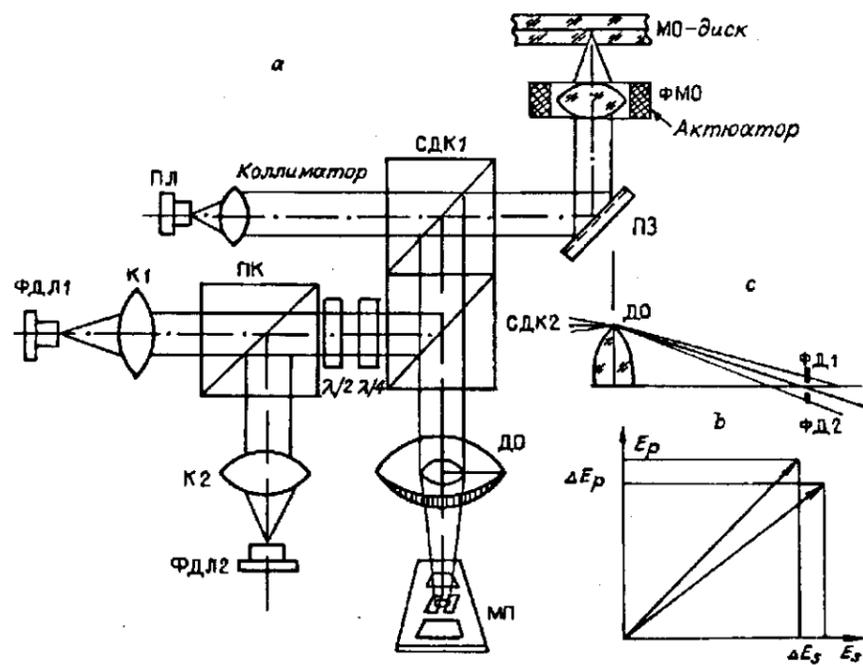


Рис. 4

анаморфотные элементы), оптимизации канала записи-чтения по критерию максимума отношения сигнал/шум и использования лавинных фотодиодов. Кроме того, было принято во внимание, что для каждого значения угла керровского вращения максимум отношения сигнал/шум может быть достигнут при вполне определенных значениях параметров светоделительных элементов головки [19, 20]. В частности, если шумы преобладают над дробовыми шумами, то оптическая схема должна пропускать на диск 67 % мощности излучателя P -поляризации, светоделительный кубик должен отражать 100 % мощности S - и 33 % P -компоненты отраженного от диска света. Именно эти соотношения реализованы в данной головке.

Аналого-импульсный преобразователь сигналов. Схема преобразователя показана на рис. 6. Преобразователь предназначен для усиления сигналов, получаемых от лавинных диодов, их суммирования, вычитания и аналого-импульсного преобразования в ТТЛ-уровни. Суммарный сигнал несет служебную информацию, отштампованную на диске изготовителем, а разностный магнитооптический сигнал воспроизводит данные пользователя. В соответствии с [21, 22] оба сигнала подаются на выходы согласованных фильтров,

оптимизированных по критерию максимума отношения крутизны сигнала к среднеквадратичному значению шума. Такое решение позволяет получить наименьшую ошибку в положении сформированного импульса на оси времени, т. е. наилучшим образом решить основную задачу достоверного чтения зарегистрированных данных. Анализ показал, что выбранный фильтр представляется двумя звеньями: первое из них согласовано с формой исходного сигнала, а второе является дифференциатором. Изложенное иллюстрируется рис. 7, $a-c$, где представлены осциллограммы: входного разностного (магнитооптического) сигнала (a); профильтрованного дифференцированного сигнала (b); сформированной импульсной последовательности ТТЛ-уровней (c).

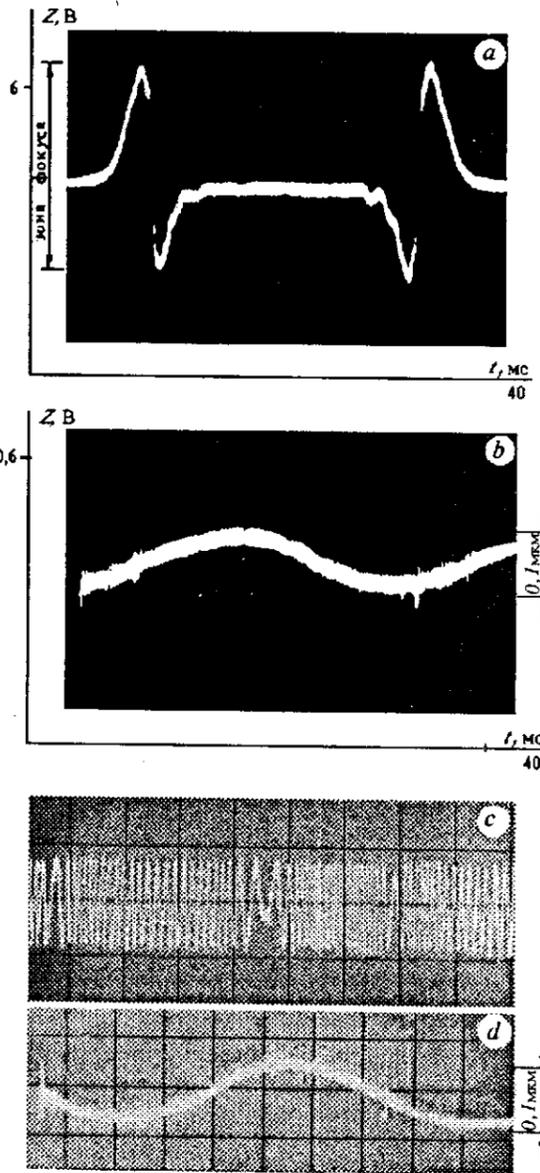


Рис. 5

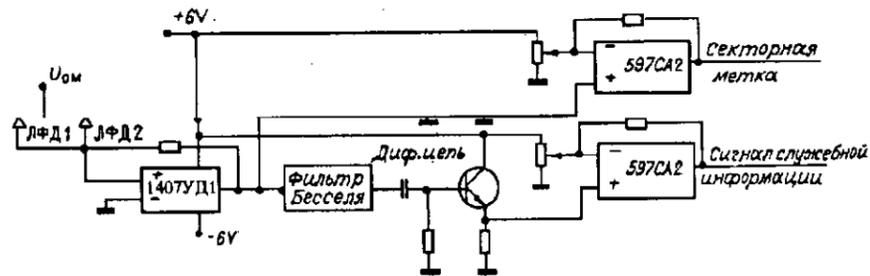


Рис. 6

Наличие в канале чтения дифференцирующего звена позволяет реализовать еще одно преимущество фильтрации, согласованной по максимуму крутизны, — независимость положения одного из фронтов сформированных импульсов от амплитудных значений исходного аналогового сигнала. Это существенное преимущество выбранной схемы фильтрации, так как стандарт на диски допускает разброс по отражательной способности, эквивалентный изменению амплитуды до 340 %. Настройка порога компарирования при выбранном значении гистерезиса выполняется таким образом, что задний фронт импульса формируется в точке нуль-перехода дифференцированного сигнала. Ясно, что в этом случае его положение не зависит от амплитуды компарируемого сигнала. Изложенное поясняется рис. 7, *d*, где осциллограммы входного и выходного сигналов компаратора совмещены.

В целях упрощения сигналы секторной метки выделяются непосредственным компарированием. Соответствующие осциллограммы представлены на рис. 7, *e, f*.

Применение согласованной фильтрации и нестандартное (см. рис. 6) включение лавинных фотодиодов позволили разделить каналы служебной и пользовательской информации и подавить синфазную помеху. В результате достигнуто отношение сигнал/шум в полосе 30 кГц более 45 дБ.

Система автоматической фокусировки и слежения за дорожкой. Требования Международного стандарта ISO/IEC 10089 допускают аксиальные биения диска до 300 мкм. Глубина фокуса примененного микрообъектива с цифровой апертурой $NA = 0,56$ составляет $\lambda/2(NA)^2 = 1,24$ мкм. В соответствии с этим относительная ошибка системы слежения за фокусом с запасом в 10 раз не должна превышать 0,0004, а коэффициент усиления в петле обратной связи должен быть соответственно не менее 2500. Реализованное усиление составляет 10000 на частоте вращения диска 30 Гц. Используемый актюатор имеет резонансную частоту около 30 Гц и добротность 10. Учитывая, что система слежения описывается уравнением второго порядка, ее характеристика Боде имеет вид, представленный на рис. 8. В точке 1000 Гц она пересекает абсциссу на уровне единичного усиления, и, следовательно, если не принять специальных мер, система автофокусировки потеряет устойчивость. Чтобы этого не произошло, в схему введена цепь коррекции и общая передаточная функция в полосе выше 30 Гц приобретает вид

$$W(j\omega) = \frac{k(1 + j\omega\tau_1)}{j\omega^2(1 + j\omega\tau_2)}$$

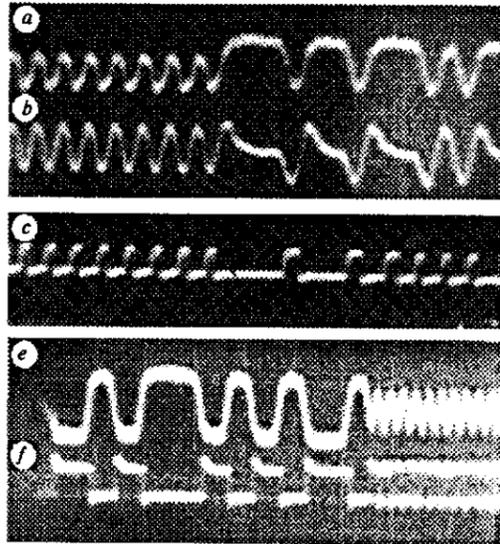


Рис. 7

где $k = 36 \cdot 10^6 \text{ с}^{-2}$, $\tau_1 = 2,8 \cdot 10^{-4} \text{ с}$, $\tau_2 = 2,8 \cdot 10^{-5} \text{ с}$.

Эта функция представлена на рис. 8 жирной линией. Запас устойчивости по амплитуде составляет 10 дБ, что обеспечивает нормальную работу системы.

Требования к системе слежения за дорожкой и фокусом аналогичны, поэтому обе системы автоматического управления одинаковы.

Особенности системы позиционирования. В основу системы положены идеи оптимального управления по критерию максимального быстродействия [23]. Опыт ее эксплуатации показал,

что основная потеря времени происходит из-за задержки захвата управляющей дорожки после окончания позиционирования. Задержка обусловлена паразитными свободными колебаниями актюатора в результате быстрого разгона — торможения каретки.

Чтобы сократить время позиционирования, потребовалось установить дополнительную систему авторегулирования, демпфирующую актюатор после окончания тормозящего импульса. Она представляет собой датчик нулевого положения актюатора, построенный на основе оптрона АОД-111А и скорректированного усилителя обратной связи, который включается в работу непосредственно после окончания тормозящего

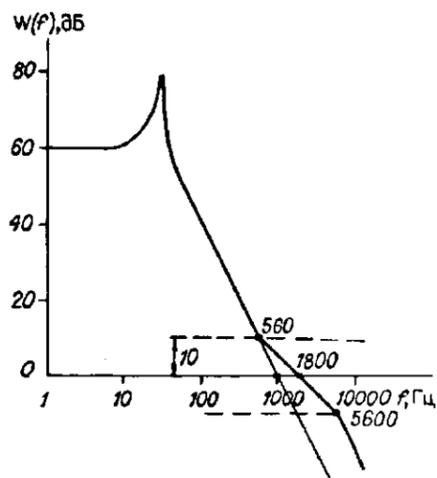


Рис. 8

импульса. Введение демпфирующей цепи сократило среднее время позиционирования до 40 мс.

В системе позиционирования также реализован режим работы «на одном цилиндре». Возврат актюатора осуществляется импульсами разгон — торможение длительностью около одной миллисекунды после того, как устройство чтения адресов зафиксирует следующий номер дорожки.

Драйвер лазера. При проектировании драйвера лазера, кроме требований ISO/IEC 10089 по установке мощности излучения лазера, учитывалась необходимость стабилизации этой мощности при изменениях температуры окружающей среды. Функциональная схема драйвера показана на рис. 9. Левая часть схемы представляет собой систему автоматической стабилизации заданного режима лазера по средней мощности излучения и отвечает за постоянство мощности при изменениях температуры и поддержание заданных режимов чтения и стирания. Обратная связь по мощности замыкается через встроенный в корпус лазера фотодиод, являющийся датчиком изменений мощности, а задание требуемого режима работы лазера при чтении осуществляется по шине контроллера накопителя через интерфейс драйвера и цифроаналоговый преобразователь ЦАП1. При включении накопителя мощность излучения лазера составляет на диске 0,5 мВт. Глубина обратной связи обеспечивает стабильность поддержания мощности на уровне 1 % при изменении температуры окружающей среды в диапазоне 10—30 °С.

Правая часть схемы является модулятором лазера. Импульсы ТТЛ-уровней, соответствующие единицам канальных бит от кодека RLL (2,7), поступают на одновибратор, нормирующий их по длительности (70 нс). Одновибратор через схему 155ЛА18, работающую как ключ, открывает основной транзистор $T1$, питающий лазер. Напряжение коллекторного питания выходного транзистора микросхемы 155ЛА18, определяющее импульсную мощность лазера, создается эмиттерным повторителем на транзисторе $T2$, управляемым ЦАП2. Напряжение ЦАП2 соответствует кодам, вырабатываемым контроллером накопителя после чтения данных стандартно форматированной зоны.

Хотя непосредственной температурной стабилизации импульсной мощности лазера не предусмотрено, она осуществляется косвенно по цепи автоматического управления средней мощностью.

Система фазовой автоподстройки частоты опорного генератора. Система ФАПЧ обеспечивает синхронизацию работы всех узлов накопителя, поэтому к ней предъявляются жесткие требования в части точности слежения за скоростью вращения диска и быстродействия. Особенно это касается работы ФАПЧ в режиме чтения, так как двигатель вращения диска, являясь электро-механической системой с сухим трением, не может обеспечить требуемой стабильности мгновенной скорости вращения. Поэтому система ФАПЧ сконструирована так, что в режиме чтения подстраивается сигналом каждой единицы канальных бит. В режиме записи ФАПЧ отслеживает синхросигналы заголовка, запоминает их частоту, а затем выдает необходимую частоту

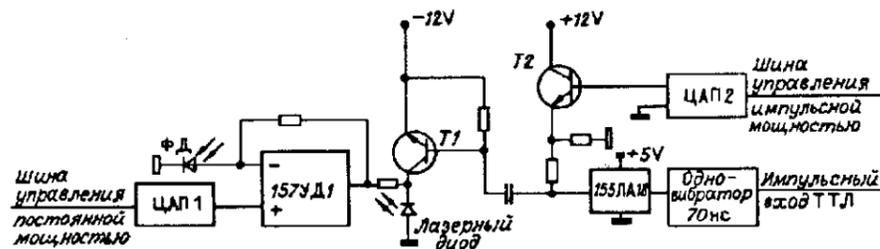


Рис. 9

импульсов синхронизации накопителя, равную 11,1 МГц. Быстродействие системы ФАПЧ составляет 5 мкс, а память на длине одного сектора обеспечивает уход частоты не более чем на 0,1 %.

Контроллер диска, кодек RLL (2,7). Контроллер, схема которого показана на рис. 10, включает системы детектирования служебной информации сектора (СДСИ), формирования управляющих сигналов (СФУС), обработки данных (СОД) и интерфейс (ИС).

Система детектирования служебной информации (СДСИ) предназначена для выделения служебных меток в потоке данных и формирования сигналов, предназначенных для синхронизации работы устройства с потоком данных и определения местоположения значимой для обработки сектора информации на оси времени. Система способна обнаружить все четыре определенных стандартом метки (SM, AM, SYNC и RESYNC) по заданному алгоритму.

СДСИ реализована с использованием трех ПЛИС (программируемых логических интегральных схем) серии КМ573ХЛ1 и трех 8-битных сдвиговых регистров и представляет собой длинный (72 бита) сдвиговый регистр и четыре схемы выделения определенных стандартом служебных меток. Три регистра образуют 24-разрядный регистр сдвига. Остальная часть регистра сдвига и вся логика выделения служебных меток реализованы на трех ПЛИС.

Система формирования управляющих сигналов (СФУС) предназначена для формирования сигналов, управляющих системами ФАПЧ и системой обработки данных, и для формирования сигналов синхронизации (VFO3, SYNC, RESYNC) во время записи данных на диск. Система выполнена в виде модификации конечного автомата, реализованного на базе счетчика и ПЛИМ (программируемой логической матрицы). В зависимости от информации, полученной от детектора служебной информации, системы обработки данных и интерфейсной части схемы, ПЛИМ формирует сигналы управления счетчиком положения, системой обработки данных и внешними схемами (ФАПЧ, управление мощностью лазера и др.).

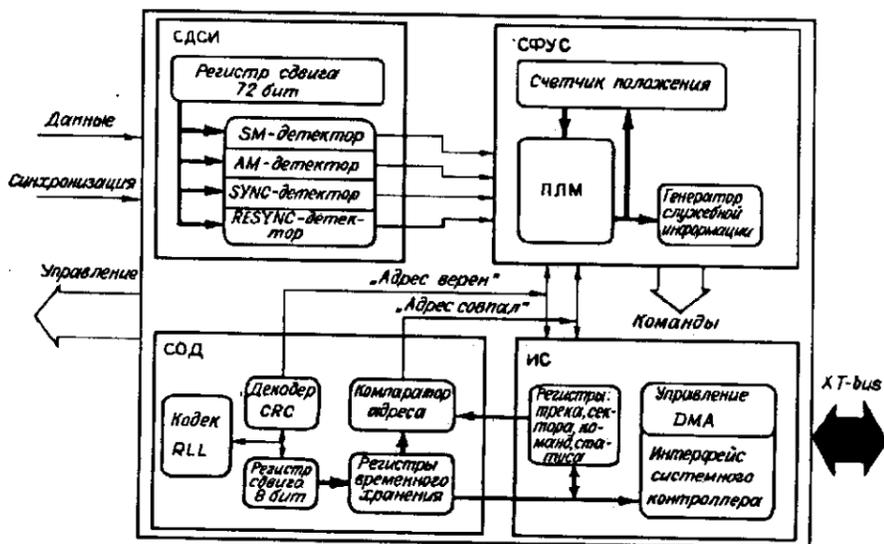


Рис. 10

Система обработки данных (СОД) предназначена для дешифрирования информации из адресной части сектора, сравнения адреса текущего сектора с заданным и выдачи сигнала устройству управления о совпадении, перекодирования данных из формата RLL (2,7) в формат NRZ (без возвращения к нулю) при считывании данных с диска и обратно во время записи. Система сконструирована вокруг кодека RLL (2,7), также выполненного на основе ПЛИС. Декодирование инициируется командой системы управления при обнаружении адресной метки в служебной зоне сектора или метки синхронизации начала или ресинхронизации данных в магнитооптической зоне во время операции считывания данных с диска. Кодирование данных запускается после окончания записи меток SYNC или RESYNC.

При считывании адресной информации декодированные последовательные данные в формате NRZ поступают на вход устройства проверки CRC (циклического проверочного кода), реализованного на микросхеме КР1818ВФ4, и одновременно преобразуются в параллельный 8-битный формат. Три 8-разрядных слова запоминаются в регистрах временного хранения до окончания проверки CRC. Если проверка завершена успешно, то по импульсу, сформированному микросхемой КР1818ВФ4, происходит перезапись адресной информации из временных регистров в выходные регистры трека и сектора интерфейсной части контроллера. Одновременно происходит сравнение адреса сектора с указанным во входных регистрах трека и сектора интерфейсной системы. По результатам этих проверок устанавливаются биты "Адрес верен" и "Адрес совпал", используемые схемой формирования управляющих сигналов для принятия решения о дальнейших действиях (корректировка счетчика тактовых интервалов, определяющего положение сектора под объективом, разрешение выполнения операции чтения-записи сектора при достижении магнитооптической зоны). Эти биты могут быть считаны системным контроллером через регистр состояния контроллера диска.

При выполнении операции считывания данных с диска декодированные последовательные данные в формате NRZ преобразуются в параллельный 8-битный формат. После формирования очередной байт передается в выходной регистр и генерируется сообщение интерфейсной системе о необходимости завершения цикла передачи очередного байта данных. Обнаружение метки ресинхронизации вызывает перезапуск декодирования и преобразования последовательных данных в параллельные, что автоматически прекращает связанное с потерей синхронизации распространение ошибок в данных.

При выполнении операции записи после завершения формирования областей VFO3 и SYNC устройством управления начинается преобразование байтов данных, полученных от интерфейсной системы, в последовательный формат NRZ и далее перекодирование их в RLL (2,7). Этот процесс прерывается необходимостью вставлять метки ресинхронизации в поток данных. В это время происходит перезапуск кодека RLL (2,7).

После завершения очередной команды чтения или записи устройство формирования управляющих сигналов переводит контроллер диска в режим поиска очередной секторной метки.

Интерфейс предназначен для взаимодействия контроллера диска с системным контроллером накопителя и обеспечивает буферизацию информационных сигналов, дешифрацию адресов на шине, принимает команды для контроллера и организует передачу данных между системным ОЗУ и системой обработки данных в режиме прямого доступа к памяти (DMA). В его состав входят входные и выходные регистры адреса сектора на два байта номера трека и байт номера сектора, регистры состояния и управления контроллером диска и блок управления DMA.

Ввиду требований большой скорости обмена данными, после начала цикла прямого доступа к памяти по команде управляющей системы интерфейс вводит в циклы обмена режим ожидания, не давая завершиться очередной операции чтения-записи в память до получения от блока обработки данных информации о готовности принять/передать очередной байт данных.

Заключение. Созданный МО-накопитель в полном объеме обеспечивает работу со сменными магнитооптическими дисками, отвечающими требованиям Международного стандарта ISO/IEC 10089, и имеет следующие характеристики: объем памяти на одном двухстороннем диске 652 Мбайт; скорость обмена данными 640 Кбайт/с; время доступа 70 мс; скорость вращения диска 1800 об./мин; интерфейс SCSI позволяет использовать накопитель совместно с персональным компьютером.

Описания интерфейса SCSI и кодака Рида — Соломона даны соответственно в [24, 25].

Авторы считают своим долгом поблагодарить коллег по совместной работе А. М. Жмудя, А. Д. Дуба, А. С. Яроменка, Л. Б. Левинсона, З. Б. Кругляка, С. А. Кругляк, В. В. Лихошерстова, Г. А. Кашееву, И. В. Филимоненко, С. А. Фролова, В. А. Сорокина, Е. В. Подивилова, а также П. Е. Твердохлеба и В. П. Коронкевича за полезные обсуждения и помощь при решении ряда научно-технических задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Chen D. Magnetic materials for optical recording // *Appl. Opt.*—1974.—13(4).—P. 767.
2. Suits J. C., Geits R. H., Lim C. J. et al. Observation of laser written magnetic domains in amorphous TbFe films by Lorentz microscopy // *J. Appl. Phys.*—1987.—61(8).—P. 3509.
3. Kryder M. H. Magneto-optic recording technology // *J. Appl. Phys.*—1985.—57(1).—P. 3913.
4. Александров К. С., Середкин В. А., Фролов Г. И., Яковчук В. Ю. Оптическая запись в аморфных ферромагнитных пленках // *Автометрия.*—1988.—№ 4.
5. Balasubramanian K. Materials and design issues of multilayer magneto-optical thin-film media for optical recording // *Opt. Eng.*—1992.—31, N 12.
6. International Symposium on Optical Memory 1989: Technical Digest.—Kobe, Japan, 1989.
7. Tanabe T., Tanaka Y., Arai R. Simple analysis of readout waveform for an elliptical mark // *Appl. Opt.*—1993.—32, N 20.
8. Гудинаф Ф. Применение цифровой обработки сигналов для повышения емкости диска // *Электроника.*—1993.—№ 14.
9. Тальрозе В. Л., Николаев Е. Н., Введенский Б. С. Магнитооптическая реверсивная память // Тез. докл. Всесоюз. конф. «Проблемы оптической памяти».—М., 1990.
10. Berman G. P., Frolov J. I., Seredkin V. A., Yakovchuk V. Yu. Analysis of interaction of laser radiation pulses with metal magnetostrictive film // *Solid State Commun.*—1988.—57, N 2.—P. 1203.
11. Середкин В. А., Смоленский А. В., Фролов Г. И., Яницкий Р. В. Запись информации в пленках РЗМ—ПМ пико- и наносекундными импульсами лазерного излучения // Тез. докл. Всесоюз. конф. «Проблемы оптической памяти».—М., 1990.
12. Антонов А. А., Петров В. В. Оптико-механическое запоминающее устройство на цилиндрических носителях информации // *Радиотехника.*—1992.—№ 9.
13. Троицкий Ю. В., Якушкин С. В. Оптимизация параметров многослойной структуры магнитооптического диска // *Автометрия.*—1990.—№ 5.
14. Ведерников В. М., Вьюхин В. Н., Кириянов В. П. и др. Прецизионный фотопостроитель для синтеза оптических элементов // *Автометрия.*—1981.—№ 3.
15. Юрлов Ю. И. Форматирование носителей для оптической памяти // Тез. докл. Всесоюз. конф. «Проблемы оптической памяти».—М., 1990.
16. Донцова В. В., Клевцов Ю. А., Коронкевич В. П. Микрообъективы с дифракционным корректором для дисковой памяти // *Автометрия.*—1994.—№ 1.
17. Положительное решение на заявку 4922778/10(026674) Россия. Устройство автофокусировки и слежения за информационной дорожкой оптического дискового накопителя / А. М. Белкин, В. П. Коронкевич, В. С. Соболев.—Принято 14.04.92.
18. Волков В. Г., Дуб А. Д., Жмудь А. М., Фромичев В. В. Полупроводниковый инжекционный лазерный излучатель для магнитооптических накопителей // *Автометрия.*—1994.—№ 5.
19. Соболев В. С., Филимоненко И. В. Оптимизация фотоприемного тракта магнитооптической памяти // *Автометрия.*—1989.—№ 2.
20. Соболев В. С., Филимоненко И. В. Оптимизация тракта чтения магнитооптического накопителя по критерию максимума отношения сигнал/шум // *Автометрия.*—1991.—№ 5.

21. Соболев В. С., Кашеева Г. А., Филимонок И. В. Оптимальное преобразование магнитооптических сигналов по критерию минимума фазовой ошибки // Автометрия.—1994.—№ 5.
22. Щербаченко А. М. Система быстрого позиционирования магнитооптического накопителя // Автометрия.—1994.—№ 5.
23. Козлачков В. А., Коршевер И. И., Полозков П. А. и др. Обнаружение и исправление ошибок в накопителях на магнитооптических дисках // Автометрия.—1991.—№ 6.

Поступила в редакцию 21 апреля 1994 г.
