

## Лазерный проигрыватель видеодисков

В. И. БУТТА, В. Л. ВАСИЛИШИН, В. С. ГВОЗДИКОВ, А. П. ДОВГАНЬ,  
М. И. ДРОБОТ, Г. П. КОРНИЕНКО, И. М. СЕНЬКО, А. И. ЭКТОВ

Современное общество испытывает постоянно возрастающую потребность в быстродействующих и удобных информационно-справочных системах большой емкости. За последние годы в ряде стран созданы принципиально новые виды бытовой радиоэлектронной аппаратуры, базирующейся на последних достижениях науки и техники. Лазерную технику применяют сейчас в различных областях науки, техники и производства, в том числе в системах оптической записи и воспроизведения информации. Специфические свойства лазерного излучения, имеющие значительные преимущества по сравнению с обычными источниками некогерентного излучения [1], позволили применить лазер для считывания информации с дисковых носителей.

За рубежом работы по созданию видеопроигрывателей начались с 70-х годов. Вскоре уже насчитывалось до 25 различных конструкций, в которых использовались четыре способа считывания оптической информации: механический, емкостной, голографический, лазерный. Последний имеет ряд важных преимуществ по сравнению с другими способами: высокое качество изображения, продолжительное время проигрывания, неограниченный срок службы, возможность быстрого произвольного выбора и остановки на экране любого кадра, удобство в эксплуатации и хранении носителей информации — видеодисков. Плотность записи на оптическом носителе в сотни раз превышает плотность записи на магнитной ленте. Кроме того, оптические диски легко тиражируются, долго сохраняются (более 10 лет), требуют гораздо меньших площадей при создании архивов, а стоимость их значительно ниже стоимости магнитной ленты [2]. Основной недостаток лазерного видеопроигрывателя — сложность оптико-механической конструкции и, следовательно, высокая пока стоимость. Несмотря на это, оптические диски для

видеопроигрывателей становятся серьезными конкурентами современных носителей информации, таких, как микрофиши, магнитные ленты.

Первый лазерный видеопроигрыватель и видеодиск системы VLP были созданы фирмой Филипс (Нидерланды) в 1972 г.

Видеодиск фирмы Филипс состоит из двух жестких оптически прозрачных дисков диаметром 305 мм и толщиной 1,25 мм, склеенных между собой [3]. На информационных сторонах этих дисков записана информация в виде углублений (питов) на спиральных дорожках с шагом 1,67 мкм. Информация заложена в питах шириной 0,4 мкм, глубиной 0,16 мкм и изменяющейся от 0,5 до 4 мкм длиной. Зона записи информации находится между радиусами 55 и 145 мм, общая длина спирали записи на двух сторонах такого диска составляет около 68 км. На них размещается около 108 тыс. кадров ТВ изображения для дисков с постоянной угловой скоростью (ПУС — диски), что соответствует 1 ч непрерывного воспроизведения для стандартов ПАЛ и СЕКАМ (25 кадр/с или 1500 об/мин). Для дисков с постоянной линейной скоростью (ПЛС — диски) число размещенных кадров удваивается и время воспроизведения такого диска составляет около 2 ч.

Массовый выпуск лазерных проигрывателей за рубежом начался в 1981 г. [4]. На выставке Hi-Fi Video-84, проходившей в конце августа 1984 г. в Дюссельдорфе (ФРГ), фирма Филипс продемонстрировала очередную модель видеопроигрывателя VP500 [5].

У нас в стране первый лазерный видеопроигрыватель бытового назначения (созданный в 1979 г.) воспроизводил цветную ТВ информацию с гибких оптических дисков. Однако с появлением более

высококачественных жестких видеодисков был разработан проигрыватель таких дисков. Одна из моделей видеопроигрывателя жестких ПУС-дисков стандарта СЕКАМ, которая предназначена для серийного выпуска, рассмотрена ниже.

### Видеопроигрыватель «Амфитон-ВП»

Созданный видеопроигрыватель (рис. 1) представляет собой принципиально новое устройство для высококачественного воспроизведения цветной информации с дискового носителя записи. Видеофснграмма на диске записана в закодированной форме оптическим методом в виде спиральных дорожек. Ширина информационных пиков дорожек записи на существующих в настоящее время видеодисках 0,4–0,5 мкм, а шаг дорожек записи 1,67... 2,0 мкм. Внешний диаметр видеодиска равен внешнему диаметру грампластинок — 305 мм, внутренний — 33 мм. Внутренний диаметр записи ограничен минимально допустимой скоростью воспроизведения и равен 110 мм. Зона записи по радиусу диска приблизительно 90 мм и содержит около 50 тыс. витков спирали, что соответствует времени воспроизведения 30 мин с одной стороны видеодиска, т. е. на одном видеодиске содержится информация объемом около 2 Гбайт. Полученная плотность информации в несколько раз выше, чем в бытовых видеоманитофонах и на порядок выше, чем на магнитных дисках запоминающих устройств электронных вычислительных машин.

В видеопроигрывателе применена система оптического воспроизведения информации сфокусированным до уровня дифракционного предела лучом лазера. Такой способ воспроизведения исключает механический контакт устройства считывания с видеодиском. С одной стороны, это исключает повреждение и износ как головки считывания, так и видеодиска; позволяет легко изменять скорость воспроизведения — от остановленного изображения (стоп-кадр) до ускоренного и замедленного воспроизведения в прямом и обратном направлениях, быстрый поиск нужного участка записи. С другой стороны, для воспроизведения видеодис-

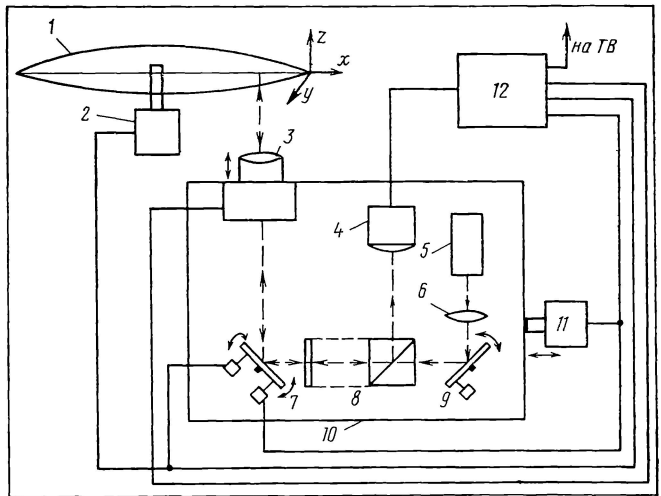


Рис. 2. Упрощенная структурная схема ВП:

1 — видеодиск, 2 — двигатель привода диска, 3 — объектив исполнительного механизма, 4 — фотоприемник, 5 — лазер, 6 — линза, 7 — зеркало исполнительного механизма, 8 — светоделитель, 9 — зеркало сканирующего устройства; 10 — головка воспроизведения, 11 — двигатель радиальной подачи, 12 — устройство обработки информации

ка с такой высокой плотностью информации понадобилась реализация ряда оригинальных технических решений и создание специальных высокоточных динамичных систем автоматического регулирования [6].

Упрощенная структурная схема видеопроигрывателя приведена на рис. 2. Источником оптического излучения служит гелий-неоновый лазер с длиной волны  $\lambda=0,63$  мкм и мощностью 1,5 мВт, луч которого формируется линзой и направляется на зеркало сканирующего устройства. Затем луч проходит поляризационный светоделитель, четвертьволновую пластинку, поворотные зеркала систем радиального слежения и попадает на микрообъектив, который фокусирует его на информационную поверхность видеодиска в пятно диаметром около 1 мкм (по уровню 0.5). Светоделитель и пластинка  $\lambda/4$  служат для разделения падающего и отраженного лучей, предотвращая попадание отраженного от видеодиска луча обратно в лазер и возникновение по этой причине интерференционных шумов. Отраженный от видеодиска пучок, модулированный по интенсивности дорожкой записи, направляется на фотоприемное устройство, электрический сигнал с которого поступает в устройство обработки сигналов. Устройство формирует информационный сигнал и сигналы рассогласования для систем автоматического регулирования [7].

При вращении видеодиска дорожка записи отклоняется относительно считывающего пятна в трех координатах, как показано в верхней части рис. 2. Основная частота таких отклонений определяется частотой вращения видеодиска при воспроизведении, т. е. 25 Гц.

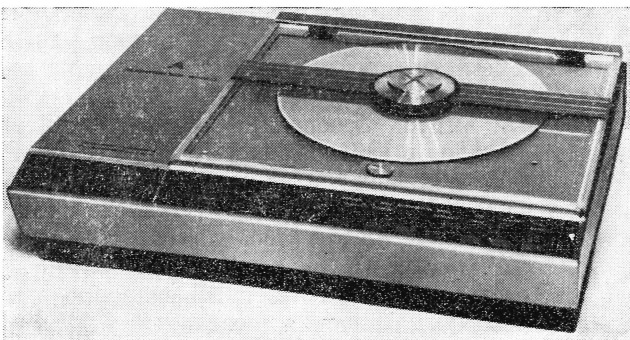


Рис. 1. Общий вид видеопроигрывателя

Вертикальные отклонения по оси  $z$  обусловлены осевыми биениями и неплоскостью видеодиска и практически составляют от 300 до 500 мкм. Глубина резкости микрообъектива считывания, при которой информация воспроизводится без помех, составляет около 2 мкм. Уменьшение таких отклонений до допустимых значений путем сохранения постоянного расстояния между информационной поверхностью и фокусирующим микрообъективом осуществляется системой автоматического вертикального слежения (САВС).

В САВС применен астигматический датчик расфокусировки, который состоит из цилиндрической линзы и четырехэлементного фотодиода [8]. Линза формирует астигматический пучок с двумя перетяжками, в которых сечения пучков имеют вид взаимноперпендикулярных прямых линий. Фотодиод устанавливается в плоскости, где при отсутствии ошибки фокусировки сечение пучка имеет вид круга. Для формирования электрического сигнала ошибки выводы площадки, противоположные относительно центра, попарно соединяются и подключаются к инвертирующему и неинвертирующему входам дифференциального усилителя (ДУ).

Если информационная поверхность видеодиска находится в фокусе микрообъектива, то все площадки фотодиода освещены одинаково, входные токи ДУ равны, а его выходной сигнал равен нулю. При уходе видеодиска в ту или другую сторону от плоскости фокусировки световое пятно на фотоприемнике вытягивается в эллипс, направление главной оси которого зависит от знака ошибки (ближе к микрообъективу или дальше). При этом на одну пару площадок попадает световой поток большей интенсивности, вызывающий появление соответствующего напряжения на выходе ДУ, величина и полярность которого соответствуют величине и направлению расфокусировки. Выбором характеристик оптических элементов можно получить необходимую дискриминационную характеристику датчика. Практически требуется максимальная крутизна характеристики с линейным участком порядка  $\pm 10$  мкм, при котором обеспечивается надежный «захват» и удержание фокуса с необходимой точностью.

Фокусировка воспроизводящего луча поддерживается благодаря движению микрообъектива синхронно с перемещениями видеодиска вдоль оси  $z$ . Перемещается микрообъектив электродинамическим механизмом: цилиндрическая катушка с прикрепленным к ней объективом движется в поле кольцевого постоянного магнита. К катушке подводится управляющее напряжение САВС. Корпус микрообъектива имеет гладкую цилиндрическую поверхность, свободно движущуюся внутри подшипника скольжения. Такой механизм, благодаря отсутствию упругих связей движущейся части с неподвижной, имеет максимальную чувствитель-

ность в области нулевых частот. Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) механизма падает с увеличением частоты со скоростью  $-12$  дБ/октаву. Это дает возможность построить оптимальную АЧХ разомкнутой системы без применения дополнительных устройств. Высокая точность слежения в области нулевых частот позволяет снизить требования к точности установки видеодиска относительно микрообъектива.

Построенная САВС обеспечивает точность слежения не хуже  $\pm 1$  мкм при частоте среза системы около 2 кГц.

Отклонения в радиальном направлении (по оси  $x$ ) обусловлены эксцентриситетом посадочного отверстия видеодиска, неточностями изготовления шпинделя привода и составляют не более 200 мкм. Допустимые отклонения воспроизводящего пятна от центра информационной дорожки не должны превышать  $\pm 1$  мкм. Считывающее пятно удерживается на центре дорожки системой автоматического радиального слежения (САРС). Кроме отработки биений вызванных эксцентриситетом видеодиска в процессе воспроизведения, необходимо перемещение воспроизводящей головки вдоль радиуса диска по мере развертки спирали записи. Эта задача выполняется системой автоматического регулирования радиальной подачи (САР РП).

Датчик сигнала рассогласования САРС построен по методу сканирования [9]. Сканирующее устройство осуществляет угловые колебания падающего на видеодиск пучка с частотой 70 кГц, что приводит к смещению считывающего пятна относительно центра дорожки и созданию амплитудной модуляции воспроизводимого сигнала. Амплитуда сканирования выбирается такой, чтобы амплитудная модуляция сигнала уверенно детектировалась и выделялась, но не вызывала искажений воспроизводимой информации. Выделенный амплитудным детектором сигнал сканирования обрабатывается в фазовом детекторе вместе с опорным сигналом генератора сканирующего устройства. Такое синхронное детектирование дает сигнал на выходе фазового детектора, величина которого пропорциональна смещению считывающего пятна с дорожки, а полярность указывает направление смещения.

Исполнительный механизм САРС представляет собой электромагнитный дефлектор, его основной элемент — поворотное зеркало на демфирующей прокладке. По краям зеркала приклеены постоянные магниты. Управляющее напряжение САРС подводится к неподвижной закрепленной катушке, магнитное поле которой действует на постоянные магниты, в результате чего зеркало поворачивается и отклоняет луч лазера. Чувствительность такого механизма зависит от характеристик постоянных магнитов и достигает  $4 \times 10^{-2}$  рад/В.

Так как сигнал рассогласования САРС вырабаты-

тывается из воспроизводимого сигнала, работа системы зависит от качества записи видеодиска, работы САВС, отношения сигнал/помеха в оптическом тракте и канала усиления фотоприемного устройства. Построенная система обеспечивает точность слежения  $\pm 0,1$  мкм при частоте среза около 5 кГц и редукией не менее 60 дБ. Вопросы синтеза таких высокоточных и динамичных систем рассмотрены в [10].

Для управления радиальной подачей воспроизводящей головки используют сигнал рассогласования САРС. С помощью фильтра нижних частот выделяются постоянная и низкочастотная составляющие сигнала, они усиливаются и поступают на двигатель постоянного тока (ДП-20). Двигатель с помощью редуктора и зубчатой рейки связан с головкой воспроизведения и перемещает ее в зависимости от сигнала рассогласования и режима работы. Это устройство образует исполнительный механизм САР РП. В режиме ускоренного перемещения «вперед» или «назад» на двигатель подается полное напряжение питания той или другой полярности. Максимальная скорость перемещения головки воспроизведения  $6 \cdot 10^{-3}$  м/с. В режиме воспроизведения скорость перемещения зависит от шага спирали записи и при минимальном шаге (1,67 мкм) равна  $41,5 \cdot 10^{-6}$  м/с. Точность слежения постоянной системы не хуже  $\pm 10$  мкм.

Отклонения в третьей координате (по оси *у*) связаны с нестабильностью скорости вращения видеодиска и изменением радиуса считывания из-за радиальных биений. Это приводит к изменению скорости воспроизведения по отношению к той скорости, с какой осуществлялась запись этого участка видеодиска т. е. возникают временные искажения. Необходимая скорость поддерживается системой автоматического регулирования скорости вращения диска (САР ВД) и системой тангенциального слежения (САТС), которые обрабатывают соответственно «медленные» и «быстрые» изменения скорости.

Сигналы рассогласования для САР ВД и САТС получаются путем сравнения частоты и фазы периодических сигналов, записанных на видеодиске со стабильным опорным сигналом, вырабатываемом в видеопроигрывателе [11]. В качестве опорного используется сигнал кварцевого генератора, поступающий на делители частоты. Из воспроизводимого ТВ сигнала выделяются строчные синхронизирующие импульсы и немодулированная цветовая поднесущая («вспышка» на строчном гасящем импульсе), которые при обработке с опорными сигналами образуют соответственно сигналы «грубого» и «точного» слежения. После прохождения цепей коррекции и усиления сигналы поступают на исполнительные механизмы: двигатель привода видеодиска и поворотное зеркало тангенциального слежения. В системе вращения применен коллекторный двигатель постоянного

тока ДП-45; в системе тангенциального слежения используется исполнительный механизм, аналогичный механизму системы радиального слежения.

Относительная погрешность поддержания скорости вращения видеодиска не превышает  $5 \cdot 10^{-4}$ , а временные ошибки —  $\pm 100$  нс, что позволяет воспроизводить цветной ТВ сигнал без дополнительной обработки для уменьшения искажений сигналов цветности.

Таким образом, для воспроизведения сфокусированным лучом лазера в видеопроигрывателе необходимо применить пять систем автоматического регулирования. В таблице приведен перечень и основные характеристики этих систем. Определяющими в видеопроигрывателе являются системы вертикального и радиального слежения, датчики сигналов рассогласования которых прямо зависят от качества его оптико-механического тракта. Разработанные системы автоматического регулирования удовлетворяют основным требованиям к их характеристикам и обеспечивают воспроизведение цветной видеоинформации в системе СЕКАМ с дискового носителя оптической записи.

#### Перечень и основные характеристики систем автоматического регулирования видеопроигрывателя

Система автоматического регулирования	Максимальная величина отклонений	Максимально допустимые отклонения	Минимальный коэффициент регулирования, дБ	Диапазон частот регулирования, Гц
САВС	$\pm 250$ мкм	$\pm 1$ мкм	48	0—2000
САРС	$\pm 100$ мкм	$\pm 0,1$ мкм	60	0—5000
САР РП	$\pm 200$ мкм	$\pm 10$ мкм	26	0—2
САР ВД	$\pm 250$ мкс	$\pm 5$ мкс	34	0—10
САТС	$\pm 5$ мкс	$\pm 100$ нс	34	10—250

#### Технические характеристики лазерного видеопроигрывателя модель «Амфитон-501 видео»

Полоса частот по каналу изображения, МГц	5,5
Полоса частот звукового канала	30 Гц...15 кГц
Отношение сигнал/шум на выходе видеоканала, дБ	40
Скорость вращения видеодиска, мин <sup>-1</sup>	1500
Время установления устойчивого изображения на экране телевизора с момента включения видеопроигрывателя, с	60
Длительность отката головки воспроизведения, с	30
Время воспроизведения, мин	30
Мощность потребления, Вт	90
Режимы работы:	
воспроизведение цветной ТВ информации в реальном масштабе времени «вперед» (со звуковым сопровождением) и «назад»;	
остановленное изображение (стоп-кадр); пок кадровое воспроизведение «вперед» и «назад»;	
ускоренный поиск «вперед» и «назад»; индикация на экране телевизора номера воспроизводимого кадра;	
автоматический откат каретки при окончании записи	

## Литература

1. И щ е н к о Е. Ф., Оптические квантовые генераторы. — М.: Сов. радио, 1968.
2. Б а р т о л и н и Р. А. Информационно-поисковые системы с высокой плотностью записи данных. — ТИИЭР, 1982, 70, № 6, с. 74—83.
3. Funkschau, 1982, X, № 21, S. 62—68.
4. Состояние и перспективы развития рынка дисковых видеопроигрывателей за рубежом. — Радиоэлектроника за рубежом, 1983, № 4, с. 1—15.
5. Funkschau, 1984, VIII, № 6, S. 16.
6. Обеспечение воспроизведения информации в лазерных видеопроигрывателях/ В. И. Б у т т а, В. Л. В а с и л и ш и н, В. С. Г в о з д и к о в и др. Тезисы докладов 2-й Всесоюзной научно-технической конференции «Проблемы развития радиооптики». — М., 1985, Ч. 1, с. 92—93.
7. Оптический тракт видеопроигрывателя В. Л. В а с и л и ш и н, А. П. Д о в г а н ь, М. И. Д р о б о т и др. — Техника кино и телевидения, 1982, № 7, с. 46—47.
8. Заявка на патент ФРГ № 2501124, МКИ G 11 В 7/08, опубл. 07.08.55.
9. Заявка на патент ФРГ, № 2757441, МКИ G 11 В 7/08, опубл. 06.07.78.
10. Д о в г а н ь А. П. Синтез высокоточных следящих систем с колебательным звеном. — В сб.: Теоретическая электротехника. — Львов: Вища школа, 1983, вып. 35, с. 6—14.
11. Ж и в у л и н А. В. Стабилизация скорости вращения носителя в аппаратуре лазерной записи. — Техника средств связи, сер. ТРПА, 1979, вып. 2.

