

ПРЕДИСЛОВИЕ

Магнитная запись является одной из старейших технологий хранения информации, изобретенной еще в конце XIX века датским ученым Вольдемаром Паульсенем. В течение всего времени своего существования она постоянно совершенствовалась, и современные устройства цифровой магнитной записи уже ничем не напоминают те самые первые громоздкие аппараты, с помощью которых производилась запись звуковых колебаний - вначале на металлическую проволоку, а затем и на магнитную ленту. Приблизительно с середины прошлого века и почти до самого его окончания аналоговая магнитная лента вместе с виниловым диском доминировали на потребительском рынке носителей звуковой информации и были вытеснены с него только после появления в 1982 году первого цифрового носителя - компакт-диска.

В профессиональной же сфере магнитные носители своих позиций пока сдавать не собираются. Правда, аналоговая магнитная лента уступила место вначале цифровой магнитной ленте, а та, в свою очередь, постепенно передает эстафету более компактным и удобным в эксплуатации жестким магнитным дискам, которые помимо гораздо большей информационной емкости обеспечивают еще и гораздо более широкий набор функциональных возможностей для работы с записанным материалом. Более того, технологии записи на жесткие диски до сих пор не исчерпали своего ресурса в направлении увеличения плотности записи и все еще достаточно активно развиваются. Угрозу их существованию представляют только еще более бурно развивающиеся твердотельные накопители информации, в частности, накопители на основе flash-памяти. Такие накопители чрезвычайно компактны, экономичны с точки зрения потребления энергии и не содержат движущихся частей, а следовательно, не боятся механических ударов и сотрясений. Однако такие накопители пока еще слишком дороги и не могут конкурировать по этому параметру с жесткими дисками. Тем не менее в потребительской сфере - там, где не требуется большой информационной емкости, а важны геометрические размеры изделия и его устойчивость к механическим воздействиям, flash-накопители уже заняли прочные позиции и в скором времени могут вытеснить отсюда доминирующие сейчас оптические носители - CD, DVD и BluRay.

Из вышесказанного следует, что данная книга адресована, в основном, специалистам индустрии звукозаписи, поскольку именно им приходится иметь дело с носителями магнитной записи. Кроме того, книга может быть полезна разработчикам устройств магнитной запи-

си, если те отрасли промышленности, где они могут использоваться, вдруг возродятся после добросовестного и целенаправленного их уничтожения доморощенными «доброжелателями».

В первой главе книги приводится краткая история возникновения цифровой магнитной записи, начиная с первых попыток записать оцифрованный звуковой сигнал на видеоленту вместо сигнала строчной развертки одного из телевизионных форматов.

Вторая глава посвящена первому потребительскому формату цифровой звукозаписи - R-DAT, который по иронии судьбы так и не стал массовым, но, тем не менее, до самого последнего времени широко использовался в профессиональной записи звуковых программ.

В третьей главе рассматривается очень уважаемый в профессиональной среде формат DASH. Магнитофоны этого формата долгое время считались эталоном профессионального цифрового звукозаписывающего оборудования.

В четвертой главе кратко рассмотрены два сходных многоканальных цифровых формата ADAT и DTRS, используемых в профессиональной работе, которые благодаря ценовой доступности способствовали появлению множества полупрофессиональных и профессиональных студий звукозаписи во всем мире.

В пятой главе рассматриваются накопители на жестких дисках, которые в настоящее время активно вытесняют из студий звукозаписи господствовавшие там более полувека ленточные магнитофоны.

И наконец, шестая и последняя глава посвящена твердотельным накопителям, которые хотя и не принадлежат к категории магнитных носителей, но являются их прямыми преемниками в профессиональной сфере. Поэтому обойти их вниманием было бы непростительным неуважением по отношению к работникам индустрии звукозаписи.

ВВЕДЕНИЕ

Процедура записи информации с целью последующего ее воспроизведения предполагает фиксацию этой информации на некотором материале, называемом **носителем информации**, в виде пространственных изменений состояния этого носителя, совокупность которых называется **сигналограммой**.

В зависимости от типа используемого носителя информации и способа формирования на нем сигналограммы различают несколько систем записи информации [1].

Системой записи принято называть совокупность технических средств, обеспечивающих процесс формирования сигналограммы на определенном типе носителя, и технических средств, обеспечивающих воспроизведение этой информации.

Можно выделить семь различных систем записи звуковой информации, реально существовавших и применявшихся на практике с момента ее возникновения и до наших дней: механическая, емкостная, магнитная, фотографическая, оптическая, магнитооптическая и твердотельная.

Старейшей из них является **механическая** система записи информации. Именно этот вид записи использовался в фонографе Т.Эдисона, изобретенном им еще в 1877 году. Носителем информации здесь служила оловянная фольга, покрывающая поверхность цилиндрического валика. При записи специальная игла, соединенная с мембраной, формировала в фольге спиральную дорожку, глубина которой соответствовала громкости звука. Для усиления воздействия на мембрану звуковые колебания усиливались с помощью рупора. При воспроизведении записи та же игла двигалась по канавке, рельеф которой с помощью мембраны и рупора преобразовывался в звуковые колебания. Вращение валика осуществлялось вручную - с помощью рукоятки, как при записи, так и при воспроизведении. Качество такой записи, разумеется, было соответствующее. К тому же фонограммы, записанные на валиках, нельзя было тиражировать. Поэтому ценность фонографа Эдисона только в том, что он был первым в истории аппаратом для записи информации на носитель вообще и звука в частности и тем самым определил направление дальнейшего хода человеческой мысли в эту сторону.

Тем не менее механическая запись была усовершенствована и впоследствии получила очень широкое распространение для записи звуковых программ на граммофонные пластинки, которые выпускались множеством фирм и успешно продавались по всему миру в течение более четырех десятков лет. Правда, технология ее несколько из-

менилась. Запись фонограммы осуществлялась резцом из твердого сплава, соединенным так же, как и у фонографа Эдисона, с колеблющейся мембраной, на вращающийся металлический диск, покрытый лаковым слоем. Резец формировал на лаковом слое непрерывную спиральную дорожку, рельеф боковых поверхностей которой отображал колебания звукового сигнала. Затем по полученному оригиналу изготавливались металлические матрицы, с помощью которых из специальных пластмасс (состав которых со временем изменялся) штамповались грампластинки. Воспроизведение таких грампластинок осуществлялось вначале тем же способом, что и у фонографа Эдисона (граммофон, патефон), а затем с помощью электрических проигрывающих устройств (ЭПУ), содержащих преобразователь механических колебаний иглы в электрические (звукосниматель), электрический механизм вращения граммофонной пластинки и электронный усилитель, который преобразовывал слабый электрический сигнала звукоснимателя в сигнал, достаточный для формирования звуковых колебаний с помощью электродинамического громкоговорителя или акустических систем.

Емкостная система была разработана вначале для записи видеодисков (1972 г., фирма RCA (США) и Nippon Vikuta (Япония)), а затем и для записи цифровых звуковых дисков (1978 г., Nippon Vikuta). Она очень похожа на механическую, но отштампованные из хлорвинила диски здесь покрывались вначале тонкой металлической пленкой, а затем - диэлектрическим защитным слоем. Воспроизведение такой записи заключалось в изменении электрической емкости между электродом, расположенным на кончике воспроизводящей иглы, и металлизированной пленкой на поверхности вращающегося диска. Там, где на поверхности диска выступ, расстояние между ними уменьшалось и емкость, соответственно, увеличивалась, а там, где на поверхности диска углубление, расстояние увеличивалось, а емкость уменьшалась. С этой емкостью была соединена внешняя индуктивность, образуя резонансный контур. На контур подавалось переменное напряжение с частотой 915 МГц. Изменение емкости изменяло резонансную частоту контура и модулировало по амплитуде несущее колебание, что и обеспечивало возможность выделения записанного сигнала [2].

Емкостная система записи просуществовала недолго и умерла с появлением оптических компакт-дисков.

Магнитную систему записи можно по праву считать патриархом в дружном семействе систем записи: появившись еще в конце XIX века, она живет до сих пор и, несмотря на многочисленные прогнозы о ее грядущей кончине, вовсе не собирается сдавать свои позиции. Ко-

нечно, технологическая основа ее сильно изменилась, но принципы записи остались все теми же: изменение магнитных свойств материала носителя под воздействием модулирующего внешнего поля. Вначале носителем служила металлическая проволока, затем – лента из немагнитной основы с нанесенным на ее поверхность магнитотвердым материалом, теперь на смену ленте приходит диск.

Магнитная система записи, в отличие от механической, благополучно пережила переход от аналоговых методов записи информации к цифровым и прекрасно адаптировалась в новых условиях существования. Кроме того, в отличие от механического и емкостного носителей, магнитный носитель является перезаписываемым, т.е. информацию, записанную на нем, можно изменять практически неограниченное число раз - пока не разрушится регистрирующий слой или основа, на которую он нанесен.

Фотографическая система записи на пару десятилетий моложе магнитной: она появилась вместе со звуковым кинематографом, но также до сих пор жива и также адаптировалась к цифровым методам записи информации. Поскольку используется она исключительно в кино, то носителем здесь является киноплёнка. В процессе записи звуковой сигнал модулирует либо ширину, либо интенсивность светового луча, падающего на светочувствительный слой перемещающейся киноплёнки. После фотохимической обработки киноплёнки в зоне засветки образуется сигналограмма в виде дорожки записи переменной ширины либо оптической плотности.

При воспроизведении дорожка с сигналограммой располагается между источником света, формирующим узкий световой пучок, и фотоприемником, преобразующим энергию света в электрический сигнал. Поскольку интенсивность светового луча, прошедшего через сигналограмму, зависит от ширины или оптической плотности дорожки, то величина сигнала, формируемого фотоприемником, зависит от закона модуляции этих параметров, т.е. от записанного звукового сигнала [1,3].

Фотографическая запись относится к числу однократных - повторная запись на киноплёнку невозможна.

Оптическая система записи на дисковые носители в настоящее время является одной из самых распространенных - по крайней мере, на потребительском рынке и существует уже около 30 лет. Оптический диск (CD, DVD, BD) - сугубо цифровой носитель. Запись информации здесь выполняется либо путем формирования микрорельефа из крошечных углублений (пит) на отражающей поверхности носителя (диски только для чтения - CD-ROM, DVD-ROM, BD-ROM), либо путем формирования на предварительно подготовленной при из-

готовлении диска дорожке записи черточек и точек с пониженной отражательной способностью - своего рода «виртуальных» пит (записываемые диски - CD-R, CD-RW, DVD-R, DVD-RW, BD-R, BD-RE и их модификации). Питы или метки с пониженной отражательной способностью на поверхности носителя соответствуют «единицам» записанной цифровой информации, а промежутки между ними - «нулям». Считывание записанной информации производится бесконтактным методом с помощью сфокусированного луча крошечного полупроводникового лазера. При этом интенсивность отраженного пучка модулируется питами дорожки записи (физическими или виртуальными), что и позволяет идентифицировать «нули» и «единицы» записанной информации. С помощью такого же лазера, но работающего в режиме повышенной мощности, осуществляется и запись информации на записываемые оптические носители. Обработка основной информации и формирование сигналов управления в устройствах оптической записи/считывания реализуются на микросхемах с очень высокой степенью интеграции. Поэтому и сами устройства получаются весьма миниатюрными и могут быть выполнены как в виде компактного переносного плеера, так и в виде стандартного компьютерного модуля.

По мере развития технологии оптической записи информационная емкость оптических дисков постоянно увеличивается. При этом увеличивается и число информационных слоев, формируемых на одном и том же диске - у DVD и BD их может быть до четырех. Если емкость CD-диска составляла всего 650-780 Мб, то емкость однослойного DVD достигла 4,7 Гб, а емкость однослойного BD составляет уже 25 -27 Гб [4-8].

Благодаря небольшим размерам (диаметр его 12 см), хорошо продуманной конструкции (дорожки записи располагаются с противоположной стороны по отношению к поверхности диска, со стороны которой производится считывание, и надежно защищены от механических повреждений всей его толщиной - 1,2 мм) и использованию мощных кодов защиты от ошибок, оптический диск является практически неуязвимым и неприхотливым в эксплуатации. Поэтому на такие диски записывают и звуковые программы, и видеофильмы, и компьютерные программы и неподвижные изображения (фотографии).

Система магнитооптической записи имеет много общего с оптической в отношении считывания, но запись информации здесь осуществляется с помощью магнитной головки на магнитооптический носитель, в результате чего на его поверхности формируется магнитограмма - как и в магнитной записи. Лазер здесь используется только для локального нагрева регистрирующего слоя в точке записи. Однако

магнитооптическая запись гораздо более устойчива к воздействию электромагнитных полей в сравнении с обычной магнитной. Без нагрева магнитограммы до определенной, достаточно высокой температуры (точки Кюри) изменение ее невозможно. Считывание магнитооптической сигналограммы осуществляется с помощью полупроводникового лазера - как и в обычной оптической записи. Однако модуляция интенсивности отраженного пучка здесь достигается совсем другим способом. Дело в том, что при отражении поляризованного света (излучение лазера является поляризованным) от участков поверхности с различной намагниченностью плоскость его поляризации поворачивается на несколько градусов. Этого достаточно, чтобы пропустив отраженный пучок через специальный анализатор (анизотропный кристалл), зафиксировать разницу в его интенсивности («нули» и «единицы» записанной информации).

Потребительским форматом магнитооптической записи звуковых программ был формат MiniDisc, который просуществовал с 1992 года по 2008 год [6]. Сейчас производство минидисковых аппаратов прекращено, поскольку они не выдержали конкуренции с записываемыми форматами оптической записи (CD, DVD, BD), информационная емкость которых во много раз больше и продолжает расти. Однако магнитооптическая запись все еще используется в профессиональной звукозаписи и в типографской отрасли.

И, наконец, **система записи на твердотельные носители**, которая на сегодняшний день является самой перспективной и развивается бурными темпами. По сути дела, твердотельные носители - это результат эволюции давно известных микросхем памяти (ОЗУ и ПЗУ), которые на начальном этапе могли хранить всего несколько бит информации. По мере развития микроэлектроники, уменьшения геометрических размеров ячеек памяти и разработки технологии долговременного хранения заряда в таких ячейках биты превратились в байты, байты в килобайты, а килобайты - в мегабайты, гигабайты и уже подбираются к терабайтам. Так что, если все будет развиваться теми же темпами, через несколько лет твердотельные накопители могут вытеснить все прочие носители информации. Самым весомым аргументом в их пользу является отсутствие движущихся частей в устройствах записи/воспроизведения и несопоставимо малое потребление энергии. Но пока еще такие накопители сравнительно дороги и не обладают достаточным ресурсом в сравнении с их основным конкурентом - жестким диском.

Здесь стоило бы упомянуть еще один носитель - **голографический**. Только он в состоянии конкурировать с твердотельным носителем по информационной емкости. Однако технология голографиче-

ской записи двоичных данных пока еще не отработана, хотя в экспериментальных образцах уже существуют и голографический диск HVD (Holographic Versatile Disc) [9], и носитель в виде кристалла ниобата лития (LiNbO_3) высокой чистоты с внедренными в кристаллическую решетку атомами железа, который при объеме всего в 1 см^3 может содержать до 1 Тб информации [6]. Технология записи на голографический диск во многом сходна с технологией записи обычных оптических дисков. Однако есть и серьезные отличия. Именно эти отличия и не позволяют пока реализовать какие-либо потребительские или профессиональные форматы голографической записи информации. Да и чрезмерно дорого все это сейчас стоило бы. Так что остается набраться терпения и чуточку подождать. И поговорить пока о магнитной записи, которая еще жива и развивается во благо и в удовольствие многочисленным специалистам и простым пользователям.

1. ИСТОРИЯ ЦИФРОВОЙ МАГНИТНОЙ ЗВУКОЗАПИСИ

Первые попытки записи звука в цифровой форме (с применением ИКМ) были предприняты в технической лаборатории японской радиовещательной компании NHK еще в 1965 году. А первая публичная демонстрация цифровой звукозаписи состоялась в 1967 году.

Звуковой сигнал, преобразованный в цифровую форму с применением частоты дискретизации 31,5 кГц и 12-разрядного нелинейного 5-сегментного квантования, записывался на видеомагнитофон с двумя вращающимися головками. Носитель – дюймовая магнитная лента (25,4 мм). Запись осуществлялась в полосе частот видеосигнала. Полоса частот – 30 Гц-15 кГц, динамический диапазон – до 75 дБ. Цифры по тем временам совершенно неправдоподобные. По сравнению с аналоговыми магнитофонами, применявшимися тогда в студийной записи, здесь отмечалось полное отсутствие плавания и дрожания звука, а также отсутствие шипенья и помех, вызванных взаимной модуляцией стереоканалов и материалом ленты.

После столь блистательного дебюта цифровой звукозаписи работы в этом направлении начались и на других фирмах. Конечно, о создании бытового цифрового магнитофона речи тогда даже не шло. Микросхемы были чрезвычайно дорогие и громоздкие. Поэтому внедрение результатов работ по цифровой звукозаписи происходило исключительно в студиях, где размеры создаваемых систем и их стоимость существенной роли не играли. В основе таких систем, как правило, лежал модифицированный магнитофон формата U-matic с лентой шириной 19 мм.

В 1972 (1969) г. фирма Nippon Columbia (ныне Denon) совместно с NHK изготовила и продемонстрировала систему цифровой звукозаписи на базе профессионального видеомагнитофона DN-034 с четырьмя вращающимися головками и двухдюймовой лентой (50,8 мм). При этом звуковой сигнал, преобразованный в цифровую форму, записывался в стандартный телевизионный кадр вместо сигнала строчной развертки. Использование 13-разрядного линейного квантования при частоте дискретизации 47,25 кГц позволило получить динамический диапазон звукового сигнала 75 дБ в полосе частот от 0 до 20 кГц. Общий вес системы превышал 200 кг, но это был первый профессиональный цифровой аппарат, активно использовавшийся в студийной работе. С помощью этого комплекса осуществлялась запись мастер-

лент для долгоиграющих грампластинок, которые маркировались знаком «PCM» (ИКМ), что означало высшую категорию качества.

Одновременно начались работы по цифровой звукозаписи с помощью неподвижных головок, которые представлялись более надежными благодаря низкой скорости движения ленты относительно головки.

В 1972-1977 годах был разработан целый ряд таких магнитофонов. Все они были не совместимы друг с другом. Применялись блоки головок, имеющие от 9 до 32 полюсов и различные типы лент шириной 6,3; 12,7; 25,4 мм. Частоты дискретизации тоже выбирались самыми разными: 32, 35,7; 48; 50; 52 кГц. В разных моделях использовалось 12-14 - разрядное квантование, как линейное, так и нелинейное.

В 1979 году фирмами Mitsubishi и Matsushita был изготовлен цифровой звукозаписывающий аппарат с неподвижной магнитной головкой, катушечным лентопротяжным механизмом и лентой шириной 6,3 мм. Управление таким аппаратом – например, одновременное воспроизведение и редактирование – производилось так же, как и с аналоговым магнитофоном. С помощью этого аппарата с 16 по 26 октября 1979 года производилась запись концертов симфонического оркестра Берлинской филармонии под управлением Герберта фон Караяна в Токийском выставочном зале. Когда в конце года была открыта первая линия цифрового ЧМ-вещания между Саппоро на севере и Фукуока на юге Японии, то запись этого концерта в течение недели транслировалась на всю Японию.

Вместе с разработкой студийной цифровой аппаратуры некоторые фирмы начали разработку и цифровой бытовой аппаратуры. Первой это сделала фирма SONY. В 1975 году она начала работы по созданию приставки к бытовому видеоманитофону, использующему кассету с лентой шириной 12,5 мм. Такая приставка, названная впоследствии ИКМ-адаптером, должна была преобразовывать аналоговый звуковой сигнал сначала в цифровой, а затем – в псевдотелевизионный. Это позволяло записывать на любой видеоманитофон вместо видеофильма высококачественную звуковую программу. Воспроизведение этой программы осуществлялось с помощью той же приставки.

Первый такой адаптер (PCM-1) поступил в продажу в октябре 1977 года. Он мог производить дискретизацию на двух частотах – 44,056 кГц (для магнитофонов системы NTSC) и 44,1 кГц (для магнитофонов PAL и SECAM). Цифровой звуковой сигнал записывался вместо сигнала строчной развертки, которая у разных систем телевизионного вещания - разная. Квантование использовалось нелинейное 3-сегментное 13-разрядное. Коррекция ошибок специальными кодами

здесь не осуществлялась. Производилось только их обнаружение с помощью циклической 16-разрядной группы CRC и маскирование линейной интерполяцией. По тогдашнему мнению разработчиков, для бытовой аппаратуры этого было вполне достаточно.

В 1978 году аналогичный адаптер (PCM-1600) был выпущен и для профессионального использования – совместно с видеомагнитофонами системы U-matic.

В июле 1979 года был принят Международный стандарт «Кодирование-декодирование с использованием импульсно-кодовой модуляции (ИКМ) в бытовой технике» (STC-007), что определило взаимозаменяемость записей независимо от того, на каком видеомагнитофоне и с помощью какого адаптера они сделаны. К тому времени фирмой SONY уже был разработан комплект из трех БИС и малогабаритный адаптер на их основе (PCM-F1). Стоимость нового адаптера была в три раза ниже, чем старого PCM-1, а вес в 5 раз меньше (всего 4 кг).

Расход ленты при использовании такого комплекта видеомагнитофон-адаптер был в 5 раз меньше, чем при использовании высококачественного аналогового катушечного стереомагнитофона (той же самой фирмы SONY) со скоростью перемещения ленты 38,1 м/с. А качество звучания цифровой фонограммы получалось несравненно выше любой аналоговой записи (табл. 1.1).

Комбинация ИКМ-адаптера с видеомагнитофоном получила достаточно широкое распространение в профессиональной и полупрофессиональной сферах. Но у массового потребителя особым успехом не пользовалась, хотя по стоимости (около 1000\$) была вполне доступна.

Потребитель все-таки привык просматривать с помощью своего видеомагнитофона видеопрограммы, а не слушать музыку, пусть даже и высокого качества. Кроме того, большая кассета формата VHS позволяла создавать только громоздкие стационарные комплексы, а не наиболее популярные портативные. Поэтому созрела необходимость создания такой системы цифровой магнитной записи, которая обеспечивала бы существенное уменьшение как размеров самого аппарата, так и используемой при этом кассеты с лентой.

В июне 1983 года представители 81 фирмы, в том числе более 60 японских, встретились на конференции, посвященной вопросам создания и стандартизации системы цифровой магнитной записи массового применения. К тому времени уже определилось и название такой системы – DAT (Digital Audio Tape – цифровая звуковая лента). Обсуждались также и всевозможные варианты домашних развлекательных комплексов на основе DAT-магнитофона, подобных уже суще-

ствовавшим тогда комплексам на основе аналогового магнитофона с компакт-кассетой.

Рассматривались два варианта DAT-системы: S-DAT – с неподвижной многополюсной головкой (S – Stationary) и R-DAT – блоком вращающихся головок (R – Rotary). Для этого были сформированы две рабочие группы.

Таблица 1.1

Сравнительные характеристики комплекта адаптер-видеомагнитофон и аналогового катушечного магнитофона SONY

Параметр	Адаптер РСМ-F1 с видеомагнитофоном	Аналоговый катушечный магнитофон фирмы SONY со скоростью перемещения ленты 38 м/с
Полоса воспроизводимых частот, Гц...кГц (неравномерность АЧХ, ± дБ)	10...20 (± 0,5)	30...20 (± 3)
Коэффициент гармонических искажений, %	0,005	0,5
Коэффициент дедтонаций, %	Ниже измеряемого уровня	0,02
Отношение сигнал/шум, дБ	Более 90	64
Разделение каналов, дБ	80	50
Влияние перезаписи	Качество не ухудшается	Ухудшается при каждой перезаписи
Масса, кг	4,0 + 4,2 (в/м)	26,5

К июлю 1985 года технические требования на обе системы были в основном сформулированы. Уже в ходе работы стало очевидным, что магнитофоны системы R-DAT быстрее найдут выход на рынок, так как они относительно просты по структуре, имеют небольшие размеры и низкую стоимость. В то же время реализация блока головок для магнитофонов системы S-DAT, состоящего из 22 отдельных по-

люсов, довольно затруднительна. Впоследствии этот прогноз полностью подтвердился.

Для выработки проекта международного стандарта в сентябре 1985 года был сформирован исследовательский комитет DAT.

Стандарт был принят в конце 1987 года, а продажа DAT-магнитофонов с вращающимися головками началась еще раньше – в начале того же года.

Кассета для магнитофона R-DAT была одной из самых маленьких из всех существовавших в то время аудиокассет – $75 \times 54 \times 10,5$ мм, и обеспечивала два часа музыки великолепного качества. Частотный диапазон – от 2 Гц до 22 кГц, отношение сигнал/шум – 98 дБ, коэффициент гармонических искажений – менее 0,005%, детонации отсутствуют.

Однако основное достоинство DAT-магнитофонов - возможность записи и перезаписи программ в цифровом виде, т. е. без потери качества, сослужило ему плохую службу. Все звукозаписывающие компании мира стеной встали против его появления на потребительском рынке, поскольку это привело бы к разгулу пиратского копирования цифровых фонограмм с компакт-дисков, а значит - к нарушению авторских прав и прав собственника. Тем не менее продукт (DAT-магнитофон) был уже создан, в его разработку были вложены огромные деньги, и деньги эти надо было как-то возвращать. Желательно - с прибылью. Лучше - с хорошей прибылью. Поэтому было принято компромиссное решение: снабжать DAT-магнитофоны, предназначенные для продажи на потребительском рынке, функцией записи (прежде всего, в цифровом виде) только на частоте дискретизации 48 кГц. В этом случае цифровым фонограммам, записанным на компакт-дисках, ничто не угрожает, поскольку частота дискретизации в формате CD - 44,1 кГц. Однако воспроизведение фонограмм, записанных с частотой дискретизации 44,1 кГц, возможно и эта функция для каждого DAT-аппарата обязательна. Но только для воспроизведения кассет с предварительной записью, изготовленных в заводских условиях. Такие кассеты предполагалось выпускать в массовом количестве - так же, как и компакт-диски. У аппаратов же, предназначенных для профессионального использования, функция записи на частоте дискретизации 44,1 кГц присутствовала. Но массовому потребителю такие аппараты были недоступны. Прежде всего, по цене. Дело в том, что профессиональный аппарат должен обладать целым рядом функций, которые существенно удорожают его стоимость, но обычному потребителю не нужны («сквозной» канал, запись временного кода, функции, связанные с редактированием и пр.).

Все эти ограничения привели к тому, что широкого распространения на потребительском рынке DAT-магнитофон так и не получил, хотя у сторонников Hi-End считался престижным элементом домашнего звуковоспроизводящего комплекса. К тому же примерно в то же самое время уже начали появляться конкуренты - оптические рекордеры для записи на диски CD-R и CD-RW, которые почему-то такого бурного протеста со стороны индустрии звукозаписи не вызвали.

Тем не менее DAT-магнитофоны очень широко использовались в студийной работе. В частности, для записи мастер-лент в производстве компакт-дисков. Лишь в последние полтора-два десятилетия они начали уступать место вначале многоканальным магнитофонам форматов ADAT и DTRS, а затем более современным системам записи звуковых программ на жестких дисках и flash-памяти. Хотя в старых студиях, имеющих историю более 20 лет, присутствуют и по сей день.

Развитием же принципов цифровой магнитной записи с помощью стационарных головок стал глубоко уважаемый звукорежиссерами всего мира профессиональный формат DASH (Digital Audio Stationary Head), который появился одновременно с компакт-диском в октябре 1982 года. Здесь запись осуществлялась на полудюймовую или четвертьдюймовую ленту с помощью монолитного блока головок, который может содержать от 2 до 48 полюсов. Частоты дискретизации - 48 кГц, 44,1 кГц и 32 кГц. Разрешение вначале было только 16 разрядов, однако к концу XX века увеличилось до 24 разрядов. Хотя формат DASH - сугубо цифровой, но благодаря большой глубине перемагничивания здесь допускается механический монтаж, т.е. разрезание ленты с помощью ножниц и последующая склейка нужных кусков, что тоже очень нравится звукорежиссерам старой закваски.

Магнитофоны формата DASH, несмотря на высокую стоимость, были очень распространены во всем мире. Да и в настоящее время занимают почетное место в старых студиях и даже, более того, активно используются в работе.

С наступлением XXI века в студии начали проникать звукозаписывающие комплексы нового поколения - цифровые звуковые станции, а ленточным магнитофонам приходится уступать место накопителям на жестких дисках и на основе flash-памяти, которые обладают и гораздо большей информационной емкостью и гораздо большим набором функциональных возможностей. Но об этом - в соответствующих разделах.

2. R-DAT

2.1. Описание формата

R-DAT (Rotary Head Digital Audio Tape Recorder) – это формат цифровой звукозаписи на магнитную ленту шириной 3,81 мм (равную ширине ленты в обычной аналоговой компакт-кассете) с помощью вращающихся головок [10].

Стандарт на него был принят в июле 1987 года. В отличие от формата CD здесь предусмотрено не только воспроизведение программ, но и возможность их записи с высоким качеством. Кроме того, благодаря использованию большого объема служебной информации (субкода) магнитофон R-DAT обеспечивает потребителю широкий набор функциональных возможностей [11].

Стандарт предусматривает шесть режимов работы DAT-магнитофона. Их основные характеристики приведены в табл. 2.1.

Среди этих шести режимов обязательными для всех выпускаемых аппаратов являются только два – I и VI.

Режим I предназначен для записи и воспроизведения программ с частотой дискретизации 48 кГц при 16-разрядном линейном квантовании. Используется он для записи с аналогового входа, а также для перезаписи таких программ с одного магнитофона на другой – как в аналоговом, так и в цифровом виде. Это режим наивысшего качества, который обеспечивает разрешающую способность 98 дБ и полосу воспроизведения частот до 22 кГц. Тем не менее функции записи в этом режиме магнитофон вправе и не иметь – если это автомобильный вариант или переносной плеер.

Другой обязательный режим – **режим VI** – предназначен исключительно для воспроизведения кассет, предварительно записанных в студии звукозаписи и тиражированных в заводских условиях. Такие кассеты можно рассматривать как аналог компакт-дисков, только в другом воплощении. Даже запись их производится с одного и того же оригинала. Поэтому и качество программ на кассетах с предварительной записью в точности соответствует качеству программ на компакт-дисках – 16-разрядное линейное квантование при частоте дискретизации 44,1 кГц.

Такие же качественные показатели имеет и **режим V**. Однако этот режим предусматривает и возможность записи, а следовательно, применение его связано с определенными ограничениями. Дело в том, что, используя этот режим, можно неограниченно размножить в цифровом виде (т.е. без потери качества) программы, записанные на ком-

пакт-дисках и DAT-кассетах с предварительной записью, предназначенных только для воспроизведения в режиме VI. А это является нарушением прав владельцев и авторов таких записей.

Тем не менее в профессиональной аппаратуре, на которую запрет копирования не распространяется, этот режим широко используется. В частности – при подготовке мастер-лент для записи компакт-дисков.

Режим II (необязательный) предназначен для записи программ цифрового спутникового вещания BS-2. Здесь полоса частот уже, чем в режимах 2 и 3, и сверху ограничена частотой 14,5 кГц, но разрешающая способность такая же, как в вышеперечисленных режимах, поскольку квантование 16-разрядное линейное.

Режим III используется для записи удлиненных 4-часовых программ при несколько сниженном их качестве. Здесь частота дискретизации 32 кГц – такая же, как и в режиме II. Но вместо 16-разрядного линейного квантования используется 12-разрядное нелинейное. Кроме того, в этом режиме скорость вращения барабана с головками снижена вдвое.

Режим IV предусматривает возможность четырехканальной записи – с тем же качеством, что и в режиме III.

Все режимы предусматривают использование стандартного барабана диаметром 30 мм с двумя вращающимися головками, закрепленными на нем под углом 180° друг к другу, Стандартный угол охвата барабана лентой всего 90°. Это позволяет значительно упростить лентопротяжной механизм, уменьшить износ ленты и реализовать высокие скорости ее перемещения без отвода от барабана.

Кроме того, стандарт допускает использование в магнитофонах R-DAT барабана диаметром 15 мм с углом охвата 180° и барабана диаметром 60 мм с углом охвата 45°. Важно, чтобы произведение численных значений диаметра барабана и угла охвата оставалось при этом величиной постоянной, равной стандартной:

$$30 \times 90 = 15 \times 180 = 60 \times 45 = 2700.$$

Тогда скорость вращения барабана и число головок можно не менять. Взаимозаменяемость лент с обычными моделями при этом сохраняется [10]. Однако, поскольку время контакта головок с лентой для разных барабанов будет разным, схемы обработки считанного сигнала в таких моделях магнитофонов должны быть несколько изменены [12].

Таблица 2.1

Основные характеристики системы R-DAT

Режим	Режим I Стандартный	Режим II	Режим III Долго- играющий	Режим IV 4-канальный	Режим V	Режим VI Широкая дорожка (Лента с предвари- тельной записью)
Параметр						
Число каналов	2	2	2	4	2	2
Частота дискретизации (кГц)	48	32	32	32	44,1	
Число бит, характеристика квантования	16, линейная	16, линейная	12, нелинейная	12, нелинейная	16, линейная	
Скорость считывания (Мбит/с)	2,46	2,46	1,23	2,46	2,46	
Система модуляции	Канальный код 8-10					
Система коррекции ошибок	Двойной код Рида-Соломона					
Система автотрекинга	Разделение зон ATF					
Ширина ленты	3,81 мм					
Толщина ленты	13±1 мкм					
Тип ленты	Металлопорошковая					Оксидная
Скорость перемещения ленты (мм/с)	8,15	8,15	4,075	8,15	8,15	12,25
Скорость головка/лента (м/с)	3,133	3,133	1,567	3,133	3,133	3,129
Параметры барабана	Ø 30 мм, охват - 90°					
Скорость вращения барабана (об/мин)	2000	2000	1000	2000	2000	
Ширина дорожки (мкм)	13,591					
Наклон дорожки	6°22'59,5"					
Время записи (мин):						
- лента 13 мкм	120	120	240	120	120	80
- лента 10 мкм	180	180	360	180	180	120

Вариант БВГ (блока вращающихся головок) с уменьшенным барабаном удобен для реализации переносных малогабаритных моделей. А вариант БВГ с увеличенным диаметром барабана, но уменьшенным (45°) углом охвата, удобен для стационарных аппаратов, когда требуется получить повышенную скорость поиска.

Если сравнивать лентопротяжный механизм (ЛПМ) DAT-магнитофона и видеомангнитофона любой системы, то ЛПМ DAT-магнитофона всегда проще. Дело в том, что в видеомангнитофонах для получения непрерывного сигнала должен быть обеспечен угол охвата барабана лентой не менее 180° . Будучи цифровым, DAT-магнитофон в такой непрерывности не нуждается. Поэтому здесь угол охвата можно изменять как угодно. Это отразится только на скорости считывания информации с ленты. В дальнейшем же эта информация заносится в буферную память и извлекается из нее для обработки с той скоростью, которая определена алгоритмом работы процессора. Выбор режима определяет выбор скорости вращения барабана (1000 или 2000 об/мин), скорости перемещения ленты (8,15; 4,075 или 12,225 мм/с), частоты дискретизации (48; 44,1 или 32 кГц), числа звуковых каналов (2 или 4) и разрядности квантования (16 или 12 разрядов).

В процессе работы магнитофона головки сканируют поверхность движущейся ленты под углом $6^\circ 22' 59,5''$ (см. рис. 2.1), который обеспечивается за счет наклона траектории движения ленты относительно барабана.

Наклонные дорожки располагаются в центральной части ленты – в так называемой цифровой зоне. За пределами этой зоны, у верхнего и нижнего края ленты, имеются две продольные дополнительные дорожки для аналоговой записи. Здесь может быть записан временной код и управляющие сигналы, необходимые для использования ленты в профессиональной записи.

Запись информации осуществляется таким образом, что ширина дорожек на ленте (13,591 мкм) получается в полтора раза уже полюсов головок (20,41 мкм). При этом полюс каждой головки захватывает часть дорожки, записанной полюсом предыдущей головки, как бы накладываясь на нее [11-13].

Чтобы при воспроизведении можно было отделить сигнал считываемой дорожки от сигналов соседних дорожек, запись выполняется так называемым **азимутальным способом**. Это означает, что зазоры каждой из головок имеют противоположные друг к другу наклоны относительно перпендикуляра к направлению движения. Одна из головок (А) имеет наклон зазора $+20^\circ$ (положительный азимут), другая (В) -20° (отрицательный азимут).

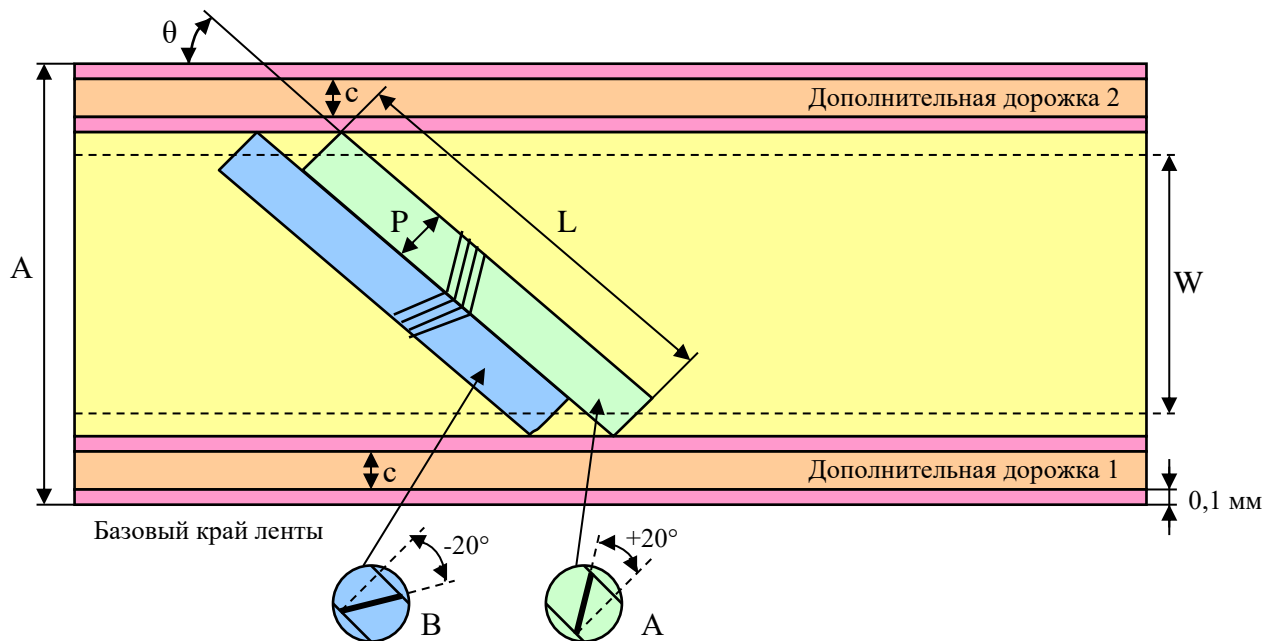


Рис. 2.1. Расположение дорожек на DAT-ленте:

A – ширина ленты (3,18 мм); W – эффективная ширина записи (2,613 мм); L – длина дорожки записи (23,501 мм); P – ширина дорожки записи (13,591 мкм); C – ширина дополнительной дорожки (0,4 мм); θ – угол наклона дорожки ($6^{\circ}22'59,5''$).

При считывании информации каждая из головок следует по дорожке, записанной со «своим» азимутом. Сигналы от соседних дорожек при этом ослабляются азимутальным эффектом и не превышают уровня шумов, обусловленных самой лентой, головкой и усилителем воспроизведения. Зато требования к точности отслеживания дорожек значительно снижаются. Если головка смещается в одну сторону от центра считываемой дорожки, то повышение уровня перекрестных помех от одной из соседних дорожек компенсируется соответствующим снижением уровня таких же помех от другой соседней дорожки [12, 14].

Магнитная лента находится в миниатюрной кассете с размерами $73 \times 54 \times 10,5$ мм. Конструктивно кассета выполнена так, что делает невозможным доступ к ленте вне лентопротяжного механизма магнитофона, поэтому лента надежно защищена от пыли и загрязнений.

2.2. Основное содержание информации, записываемой на ленту, и принципы ее размещения на дорожках

По аналогии с видеозаписью, информация, которая содержится на двух соседних дорожках, записываемых парой вращающихся головок за один оборот барабана, называется **кадром**.

Для того чтобы обеспечить максимальную устойчивость записываемой информации к искажениям, ее определенным образом перераспределяют между дорожками кадра еще до начала кодирования и основного перемежения [11-13].

При этом соседние отсчеты левого канала и соседние отсчеты правого канала оказываются на разных дорожках и на разных краях этих дорожек (рис. 2.2). Благодаря такому размещению, длинные пакеты ошибок, вызванные повреждением ленты или загрязнением одной из головок и не откорректированные помехоустойчивыми кодами, могут быть маскированы интерполяцией.

Способ размещения отсчетов левого и правого каналов в каждом кадре один и тот же.

Поскольку период одного оборота барабана (30×10^{-3} с) соответствует одному кадру информации, то при частоте дискретизации 48 кГц, в одном кадре будет $48 \times 10^3 \times 30 \times 10^{-3} = 1440$ отсчетов каждого стереоканала, или 2880 отсчетов обоих стереоканалов. Когда 16-разрядные отсчеты будут поделены на 8-разрядные символы, то количество символов в кадре окажется равным 5760 – по 2880 символов на каждой дорожке.

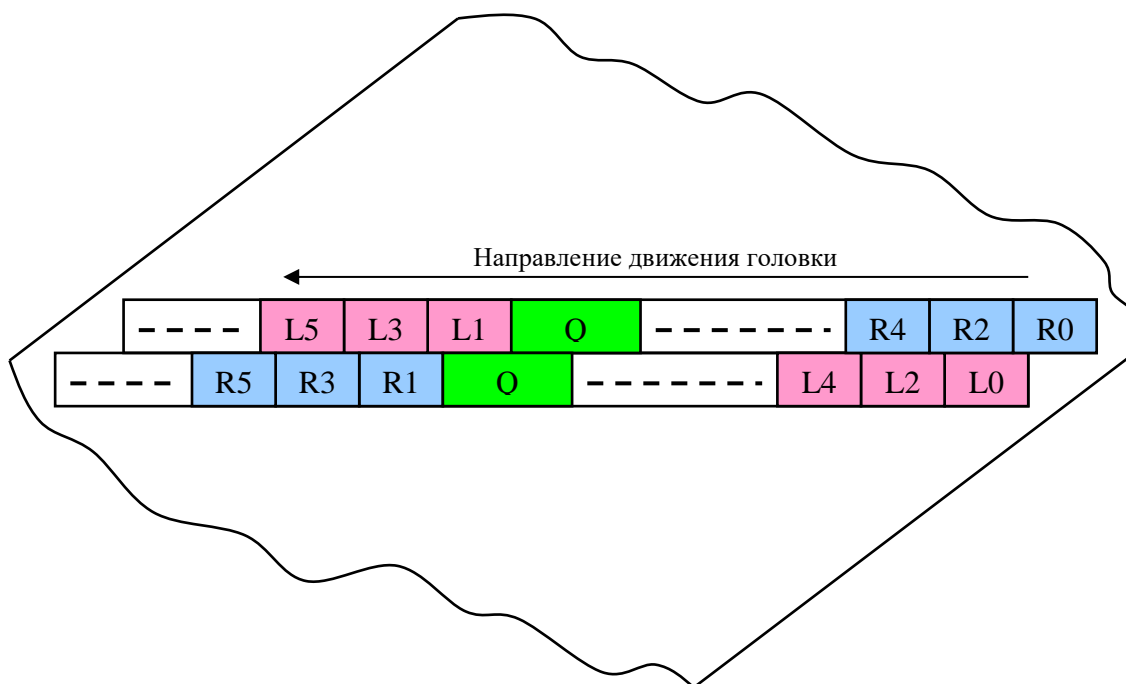


Рис. 2.2. Размещение отсчетов правого и левого стереоканалов на паре дорожек одного кадра

Однако, кроме отсчетов звукового сигнала, на каждой дорожке записывается еще и другая информация служебного характера, а также разного рода вспомогательные сигналы. Структура дорожки с указанием продолжительности каждой зоны в блоках, микросекундах и углах поворота барабана приведена в табл. 2.2. В графе «Количество блоков» продолжительность каждой из зон для определенности указана в блоках. Однако, вспомогательные сигналы – ATF, IBG, вводные, выводные и буферные являются непрерывными последовательностями и в блоки не организованы.

Таблица 2.2

**Размещение зон данных и вспомогательных сигналов
на дорожке записи**

Зоны	Интервалы (сигналы)	Угол (градусы)	Количество блоков	Время (мкс)
Буферная зона 1	-	5,051	11	420,9
Зона субкода 1	Вводный 1	0,918	2	76,5
	Данные субкода 1	3,673	8	308,1
	Выводной 1	0,459	1	38,3
Зона ATF1	IBG1	1,378	3(2)	114,8
	ATF1	2,296	5(7,5)	191,3
	IBG2	1,378	3(1,5)	114,8
Зона основных данных (ИКМ)	Вводный 2	0,918	2	76,5
	ИКМ	58,776	128	4892,0
Зона ATF2	IBG3	1,378	3(2)	114,8
	ATF2	2,296	5(7,5)	191,3
	IBG4	1,378	3(1,5)	114,8
Зона субкода 2	Вводный 3	0,918	2	76,5
	Данные субкода 2	3,673	8	308,1
	Выводной 2	0,459	1	38,3
Буферная зона 2	-	5,051	11	420,0
Всего		90,0	196	7500,0

→ Направление движения головки

Цифры в скобках относятся к режиму VI (широкая дорожка). Все остальные цифры – для режимов I-V (нормальная дорожка).

Зона, где размещаются данные о музыкальном сигнале (**ИКМ-зона**), находится в центре дорожки и занимает без вводного интервала 128 блоков из 196, т.е. большую ее часть.

С обеих сторон от зоны ИКМ расположены **зоны сигнала ATF (Automatic Track Finding)**, который используется для установки каж-

дой из головок на «свою» дорожку и обеспечения точного следования по ее центру.

Еще дальше располагаются **зоны записи данных субкода**, который содержит информацию, необходимую для обеспечения сервисных функций магнитофона – аналогичные данным из служебной группы в формате CD.

Кроме того, внутри каждой из зон данных (как основных, так и данных субкода) располагаются **вводные** и **выводные интервалы**, которые нужны для подстройки системы тактовой синхронизации (петли ФАПЧ). В них записываются последовательности импульсов и равных им по длительности интервалов между ними («меандр»), следующих с частотой в два раза ниже канальной тактовой частоты F_T (рис 2.3). Тактовая частота в формате DAT равна 9,408 МГц.

Точно такую же форму имеет сигнал, записываемый в **буферной зоне**. Эта зона необходима для ввода в режим захвата системы тактовой синхронизации и для защиты записанной информации, так как края ленты в процессе эксплуатации могут коробиться и головки не сразу вступают с ней в достаточно надежный контакт.

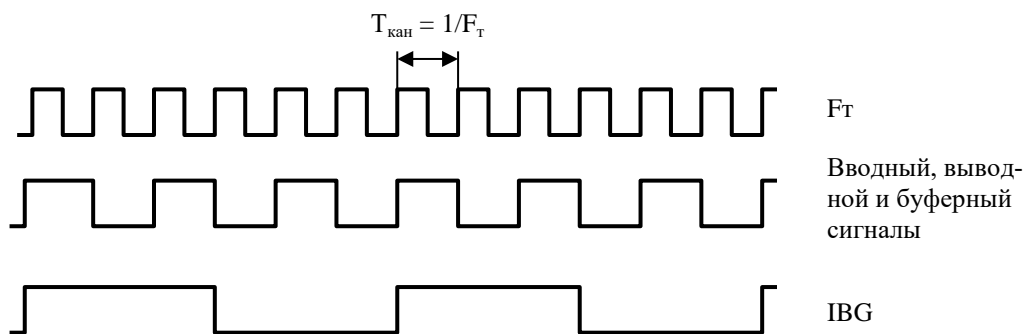


Рис. 2.3. Временные диаграммы тактовой частоты и вспомогательных сигналов

Сигнал ATF с обеих сторон также отделен от соседних зон защитными интервалами, в которых записан сигнал **IBG (Inter Block Gap)** с частотой в 6 раз ниже тактовой частоты F_T (рис. 2.3).

Каждый блок данных (как основных, так и данных субкода) включает в себя 36 восьмиразрядных символов, 32 из которых – информационные (рис. 2.4).

Первый символ – это **синхрогруппа**, которая нужна для выделения начала блока. Правда, в восьмиразрядной форме синхрогруппа не существует – она вставляется на место первого символа только при модуляции сформированной последовательности кодом 8-10, когда восьмиразрядные информационные символы заменяются

10-разрядными каналными. Как и в формате CD, здесь синхрогруппа также имеет конфигурацию, не встречающуюся в информационном потоке (два подряд следующих максимальных интервала в четыре каналных бита), что позволяет легко выделять ее при воспроизведении (рис. 2.5).

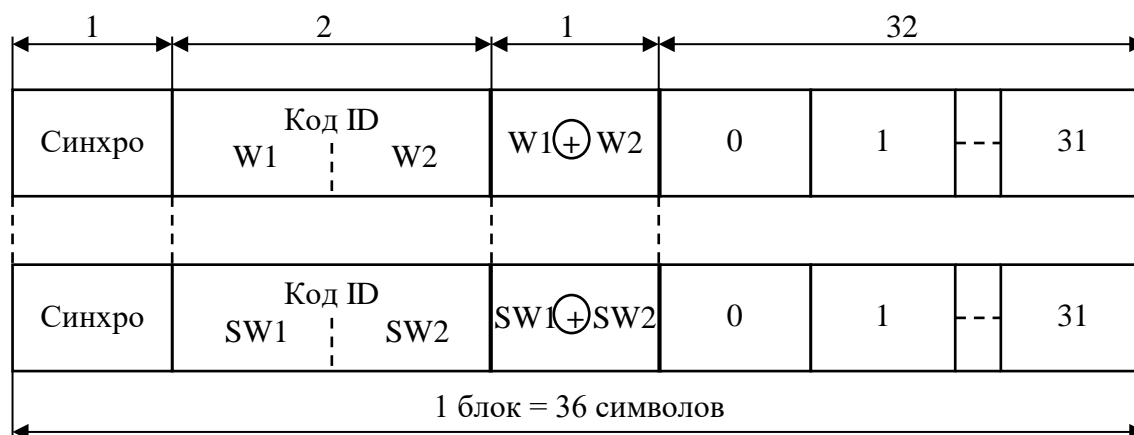


Рис. 2.4. Структура блока данных
Вверху – зона ИКМ-данных, внизу – зона субданных

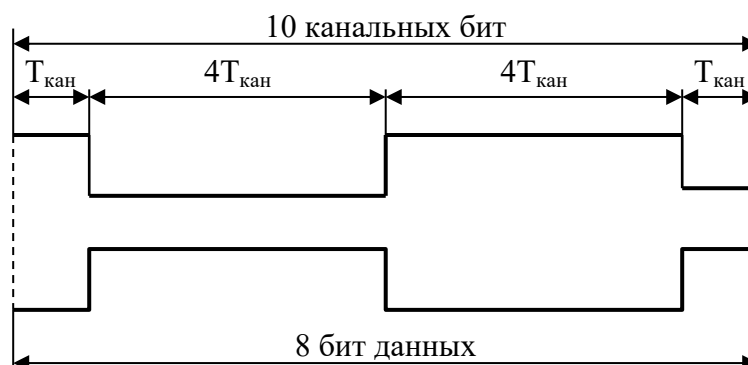


Рис. 2.5. Синхрогруппа

После синхрогруппы следуют два символа **кода идентификации (ID)**, где фиксируется служебная информация, аналогичная содержанию служебной группы в формате CD – о режиме работы магнитофона, адресе блока, адресе кадра и другие данные. Подробно об этом будет говориться в соответствующей главе.

Символ, расположенный между символами кода ID и информационными данными, является результатом проверки на четность символов кода ID. Получается он путем их сложения по модулю 2.

В отличие от основной структурной единицы формата CD – кадра, который при осуществлении помехоустойчивого кодирования сопоставляется кодовому слову, в формате DAT соответствующая структурная единица – блок кодовым словом не является. Здесь си-

стема помехоустойчивого кодирования построена по другим принципам. Из-за этого в блоке нельзя выделить информационные символы и проверочные. Те 32 символа данных, которые составляют основное содержание каждого блока, могут быть все только информационными, или все только проверочными, или частично информационными и частично проверочными. Поэтому в данном разделе формирование информации в блоки намеренно не рассматривается. Это станет ясно из раздела, посвященного помехоустойчивому кодированию. Выясним, почему тактовая частота в формате DAT равна 9,408 МГц.

Частота дискретизации в режиме I равна 48 кГц. Если оба стереоканала объединить в один, то частота следования отсчетов будет равна $48 \text{ кГц} \times 2 = 96 \text{ кГц}$. Когда каждый 16-разрядный отсчет будет разделен на два восьмиразрядных символа, частота их следования станет равной $96 \text{ кГц} \times 2 = 192 \text{ кГц}$.

Выше было подсчитано, что на каждой дорожке содержится 2880 символов. Это символы исходной музыкальной информации. На самом же деле, с учетом проверочных символов, символов субкода, вспомогательных сигналов и синхрогрупп, емкость одной дорожки равна произведению количества символов в одном блоке на общее число блоков на дорожке $36 \times 196 = 7056$. Таким образом, чтобы сохранить реальный масштаб времени, частоту следования символов нужно увеличить в $7056/2880$ раз. Кроме того, каждый 8-разрядный символ после модуляции кодом 8-10 будет содержать уже 10 бит, которые записываются на ленту последовательно, т.е. частота символов при последовательной записи (канальная тактовая частота) будет в 10 раз выше. И, наконец, если учесть тот факт, что половину общего времени записи головки с лентой не соприкасаются, это увеличит тактовую частоту еще в два раза. В итоге получим:

$$F_T = 192 \text{ кГц} \times (7056/2880) \times 10 \times 2 = 9408 \text{ кГц} = 9,408 \text{ МГц}.$$

2.3. Построение магнитофона R-DAT

Блок-схема DAT-магнитофона показана на рис. 2.6. В общих чертах она напоминает схему тракта записи/воспроизведения в формате CD. Здесь также присутствуют блоки АЦП и ЦАП, предусмотрены защита от ошибок и канальная модуляция. В системе защиты от ошибок также используются два кода Рида-Соломона, и один из них – C1[32,28] точно такой же, как в формате CD [6]. А вот второй код – C2 – в формате R-DAT уже другой. И система перемежения данных здесь совершенно непохожа на систему перемежения в формате CD. Она отражает специфику наклонно-строчной записи на магнитную ленту и оптимальна именно для нее.

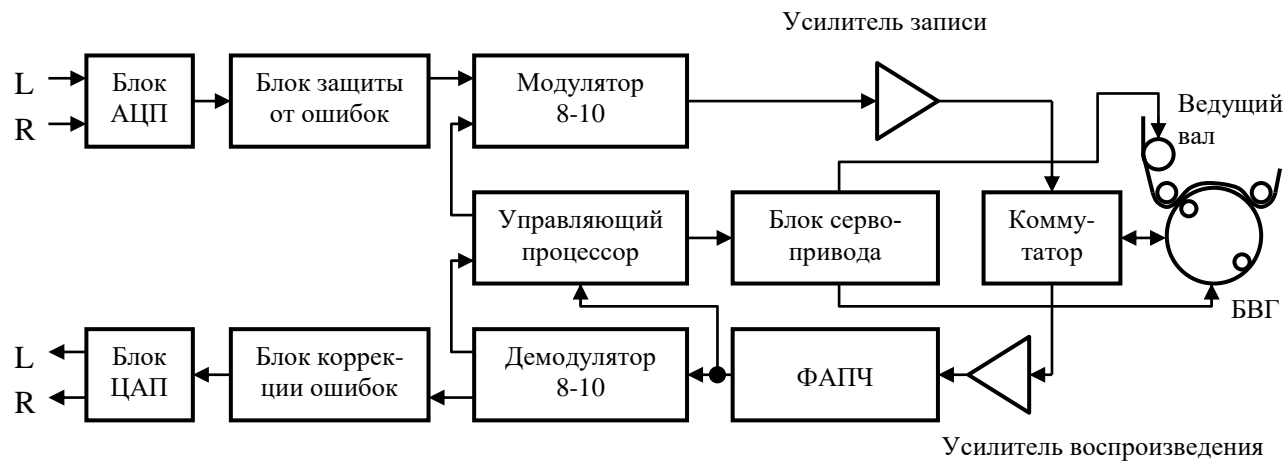


Рис. 2.6. Блок-схема DAT-магнитофона

Для модуляции в формате R-DAT используется каналный код 8-10, основанный на преобразовании восьмиразрядных кодовых символов в 10-разрядные каналные. Требования к коду модуляции в магнитной записи схожи с требованиями к коду модуляции в оптической записи – обеспечение самосинхронизируемости результирующей последовательности и устранение из нее низкочастотных компонент. Код 8-10 им полностью удовлетворяет.

При формировании сигнала записи к основным данным добавляется служебная информация (субданные) и, кроме того, вспомогательные последовательности, необходимые для обеспечения работы систем автотрекинга и синхронизации в режиме воспроизведения.

При считывании записи на выходе каждой из головок появляется высокочастотный сигнал, из которого в дальнейшем выделяются двоичный информационный сигнал, сигнал тактовой синхронизации и сигнал АТФ.

Информационный сигнал декодируется каналным декодером и поступает в блок коррекции ошибок. После этого музыкальный сигнал преобразуется в аналоговую форму с помощью блока ЦАП, а данные субкода используются для управления работой магнитофона.

Как говорилось выше, стандартный диаметр барабана с вращающимися головками в системе R-DAT равен 30 мм. При этом угол охвата барабана лентой равен 90° (рис. 2.7,а). Считывание информации при этом происходит пакетами, длительность каждого из которых равна четверти периода оборота барабана $T_{об}$ (рис. 2.8,а). Тактовая частота при этом будет равна 9,408 МГц.

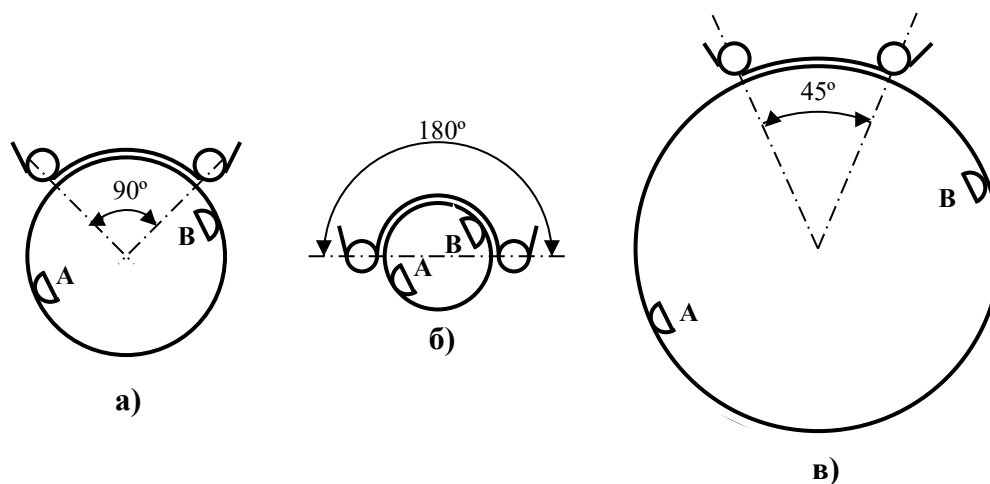


Рис. 2.7. Взаимодействие барабана с головками и магнитной лентой при различных диаметрах БВГ: а – $\varnothing 30$ мм; б – $\varnothing 15$ мм; в – $\varnothing 60$ мм

Однако, если используется барабан уменьшенного диаметра (15 мм), то, чтобы сохранить реальный масштаб времени и совместимость с обычной магнитограммой при том же числе головок и той же скорости вращения барабана, угол охвата должен быть равен 180° (рис. 2.7,б). Временные диаграммы считанного сигнала при этом будут выглядеть, как показано на рис. 2.8,б. Длительность пакетов увеличится до полупериода оборота барабана, а тактовая частота уменьшится до 4,704 МГц.

Если же диаметр барабана равен 60 мм, то угол охвата и длительность пакета считанного сигнала уменьшатся до 45° (рис. 2.7,в и рис. 2.8,в). Тактовая частота при этом увеличится до 18,816 МГц.

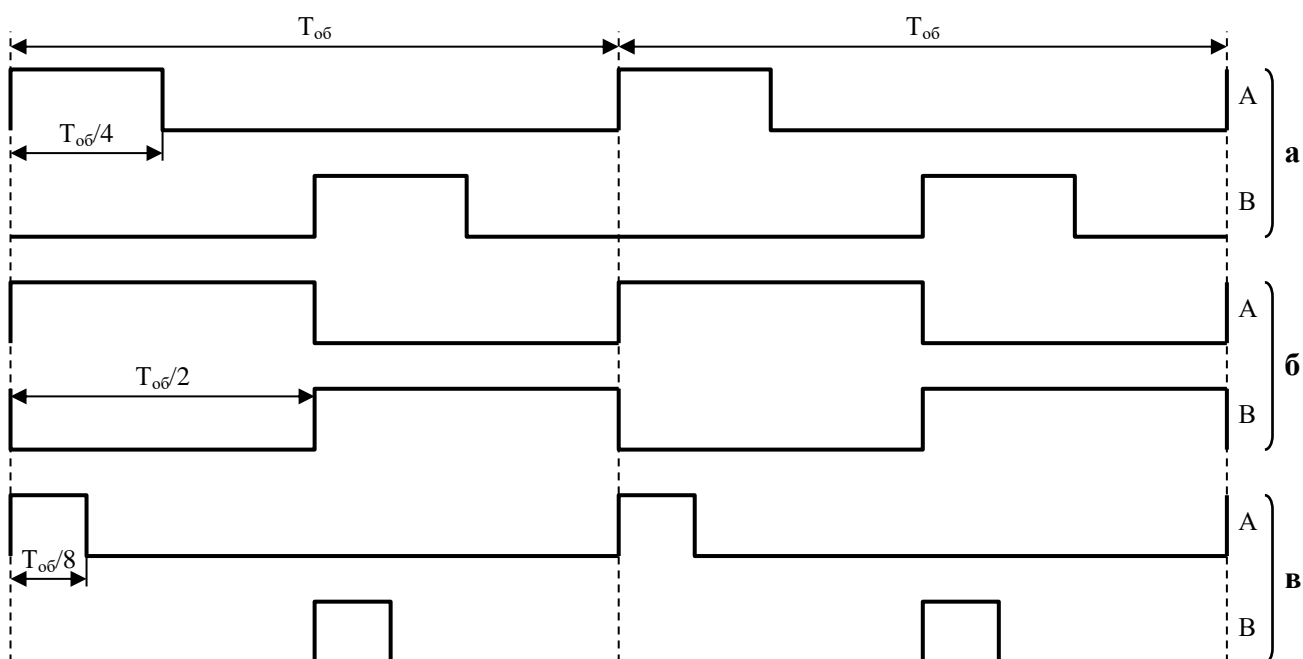


Рис. 2.8. Положение во времени сигналов считывания информации головками А и В:

а) барабан $\varnothing 30$ мм; б) барабан $\varnothing 15$ мм; в) барабан $\varnothing 60$ мм

Разумеется, при изменении диаметра барабана нуждается в некотором изменении и схемотехника электронной части магнитофона.

При воспроизведении информация с ленты заносится в ОЗУ, которое в данном случае выполняет роль буферной памяти. Процесс записи в ОЗУ управляется хронизирующими сигналами, сформированными из выделенной тактовой частоты, а считывание – сигналами, сформированными стабильным кварцевым генератором. При этом одновременно с устранением «дискретности» процесса воспроизведения устраняются и все детонации, обусловленные неравномерностью вращения барабана и протяжки ленты.

2.4. Система защиты от ошибок

Поверхность регистрирующего слоя магнитной ленты никогда не бывает абсолютно гладкой. Поэтому когда головка движется по поверхности ленты, то изменения в степени контакта между головкой и лентой, обусловленные мельчайшими выступами на поверхности последней, приводят к появлению амплитудной модуляции воспроизведенного сигнала [15].

Кроме того, сам регистрирующий слой ленты неоднороден – в одних местах он может быть плотнее, чем в других. Это также отражается на амплитуде сигнала.

Суммарное воздействие обоих факторов порождает явление, называемое **шумом модуляции**. При аналоговой записи такой шум можно легко ощутить на слух.

Если магнитная лента эксплуатировалась достаточно долго, то регистрирующий слой с ее поверхности начинает потихоньку осыпаться. Частички магнитного слоя, попадая между головкой и лентой, могут стать причиной так называемого «эффекта палатки», приподнимая ленту над рабочей поверхностью головки. Кроме того, плотность регистрирующего слоя в месте осыпания резко падает. Указанные явления являются причиной появления достаточно длительных пропаданий воспроизведенного сигнала – **выпадений**, которые так же, как и шум модуляции, хорошо слышны при аналоговой записи [15,16].

Помимо указанных причин, источниками шума являются также сама магнитная головка и усилитель воспроизведения.

Влияние шума в цифровой магнитной записи так же, как и в аналоговой, является важным фактором, определяющим качество воспроизводимого сигнала. Однако здесь требования к уровню шумов значительно менее жесткие, чем при аналоговой записи, ибо единственным существенным обстоятельством качества воспроизведения служит наличие или отсутствие импульсов, которые выделяются из считанного сигнала. Форма и размеры импульсов при этом интереса не представляют, так как «единица» всегда «единица», а «нуль» всегда «нуль», какую бы форму они не приобретали. Единственно, что необходимо, так это обеспечить такие условия воспроизведения, чтобы амплитуда импульсов была больше уровня шумов.

Таким обстоятельством пользуются для повышения плотности цифровой магнитной записи путем уменьшения ширины записываемых дорожек. Чем уже дорожки, тем больше информации можно разместить на ленте.

Но, с другой стороны, чем уже дорожка, тем слабее уровень считываемого с нее сигнала и тем труднее ее отслеживать. Поэтому уменьшение возможно до тех пор, пока уровень воспроизводимого сигнала не приблизится к уровню шумов, а количество возникающих при этом ошибок не приблизится к допустимым границам возможностей системы коррекции ошибок. Таким образом, при заданном уровне шумов, определяемых используемым носителем, должен быть соблюден разумный компромисс между шириной дорожек записи и корректирующими возможностями системы защиты от ошибок [17].

В магнитофонах формата R-DAT так же, как и в формате CD, для борьбы с искажениями используется комплексная система защиты от ошибок, включающая в себя два кода Рида-Соломона (C1[32,28] и C2[32,26]) и двунаправленный способ перемежения данных. Эта система спроектирована так, что оптимальным образом обеспечивает коррекцию как случайных, так и пакетированных ошибок, возникающих при воспроизведении информации со специальной DAT-ленты при ширине дорожек 13,591 мкм.

Особенность магнитофона R-DAT заключается в том, что он является аппаратом как для воспроизведения, так и для записи и должен обеспечивать возможность редактирования, когда часть имеющейся записи требуется заменить на новую. В формате CD это сделать затруднительно, т.к. перемежение и кодирование здесь осуществляются непрерывно и невозможно выделить какой-то обособленный независимый массив данных. Поэтому редактирование здесь привело бы к появлению искажений в месте совмещения частей записи. В формате R-DAT перемежение и кодирование информации осуществляется внутри каждой пары дорожек (кадра) независимо от таких же операций на соседних дорожках. Тем самым обеспечивается возможность редактирования записей без всяких искажений и потерь информации.

2.4.1. Коды Рида-Соломона. Способ задания

Коды Рида-Соломона, используемые в формате R-DAT для обнаружения и коррекции ошибок, определены в Стандарте своими проверочными матрицами и порождающими многочленами.

Код C1 [32,28], или код P, называется **внутренним**. Кодирование информации этим кодом осуществляется после того, как проведено кодирование кодом C2.

Проверочная матрица H_P кода C1 показана на рис. 2.9, а расположение символов внутри кодового слова задано вектор-столбцом V_P , представленным на рис. 2.10. Порождающий многочлен $G_P(X)$ этого кода имеет вид:

$$G_P(x) = \prod_{i=0}^3 (x - \alpha^i)$$

или

$$G_P(x) = (x-1)(x-\alpha)(x-\alpha^2)(x-\alpha^3)$$

Поскольку кодовое слово кода С1 содержит четыре проверочных символа, то этот код способен исправить до двух ошибок с неизвестными позициями или до четырех ошибок, позиции которых известны (стираний). Очевидно также, что число гарантируемо обнаруживаемых ошибок здесь равно четырем.

Код С2 [32,26], или код Q, называется **внешним**, и кодирование им осуществляется перед кодированием кодом С1.

Проверочная матрица H_Q кода С2 представлена на рис. 2.9, а расположение символов внутри кодового слова задано вектор-столбцом V_Q (рис. 2.10). Порождающий многочлен $G_Q(x)$ кода С2 имеет вид:

$$G_Q(x) = \prod_{i=0}^5 (x - \alpha^i)$$

или

$$G_Q(x) = (x-1)(x-\alpha)(x-\alpha^2)(x-\alpha^3)(x-\alpha^4)(x-\alpha^5)$$

Код С2 содержит шесть проверочных символов и может гарантированно обнаружить до шести ошибок. Столько же ошибок с известными позициями (стираний) он способен исправить. Если же позиции ошибок неизвестны, то корректирующие возможности кода С2 уменьшаются до трех ошибочных символов. Символы кодов С1 и С2 формата R-DAT являются элементами поля Галуа $GF(2^8)$, которое получено путем расширения простого поля $GF(2)$ с помощью неприводимого многочлена $F(X) = X^8 + X^4 + X^3 + X^2 + 1$. Примитивный элемент поля $\alpha = [00000010]$.

2.4.2. Перемежение данных

Перемежение данных в формате R-DAT сильно отличается от перемежения в формате CD. Как говорилось выше, оно оптимальным образом приспособлено для технологии наклонно-строчной записи на магнитную ленту с помощью вращающихся головок [18-21].

Как известно, в формате R-DAT существует шесть режимов работы магнитофона, отличающихся как частотой дискретизации, так и разрядностью используемых отсчетов. Поэтому и образование восьмиразрядных символов из отсчетов в разных случаях производится по-разному.

$$\begin{array}{l}
 V_P = \begin{array}{|l}
 D_{2k,l} \\
 D_{2k,l+2} \\
 D_{2k,l+4} \\
 D_{2k,l+6} \\
 D_{2k,l+8} \\
 D_{2k,l+10} \\
 D_{2k,l+12} \\
 D_{2k,l+14} \\
 D_{2k,l+16} \\
 D_{2k,l+18} \\
 D_{2k,l+20} \\
 D_{2k,l+22} \\
 D_{2k,l+24} \\
 D_{2k,l+26} \\
 D_{2k,l+28} \\
 D_{2k,l+30} \\
 D_{2k+1,l} \\
 D_{2k+1,l+2} \\
 D_{2k+1,l+4} \\
 D_{2k+1,l+6} \\
 D_{2k+1,l+8} \\
 D_{2k+1,l+10} \\
 D_{2k+1,l+12} \\
 D_{2k+1,l+14} \\
 D_{2k+1,l+16} \\
 D_{2k+1,l+18} \\
 D_{2k+1,l+20} \\
 D_{2k+1,l+22} \\
 P_{2k+1,l+24} \\
 P_{2k+1,l+26} \\
 P_{2k+1,l+28} \\
 P_{2k+1,l+30}
 \end{array} \\
 \\
 V_Q = \begin{array}{|l}
 D_{m,n} \\
 D_{m+4,n} \\
 D_{m+8,n} \\
 D_{m+12,n} \\
 D_{m+16,n} \\
 D_{m+20,n} \\
 D_{m+24,n} \\
 D_{m+28,n} \\
 D_{m+32,n} \\
 D_{m+36,n} \\
 D_{m+40,n} \\
 D_{m+44,n} \\
 D_{m+48,n} \\
 Q_{m+52,n} \\
 Q_{m+56,n} \\
 Q_{m+60,n} \\
 Q_{m+64,n} \\
 Q_{m+68,n} \\
 Q_{m+72,n} \\
 D_{m+76,n} \\
 D_{m+80,n} \\
 D_{m+84,n} \\
 D_{m+88,n} \\
 D_{m+92,n} \\
 D_{m+96,n} \\
 D_{m+100,n} \\
 D_{m+104,n} \\
 D_{m+108,n} \\
 D_{m+112,n} \\
 D_{m+116,n} \\
 D_{m+120,n} \\
 D_{m+124,n}
 \end{array}
 \end{array}$$

$k = 0, 1, \dots, 25, 38, \dots, 63$
 $l = 0, 1$
 $m = 0, 1, 2, 3$
 $n = 0, 1, \dots, 31$

Рис. 2.10. Вектор-столбцы кодов C1 (V_P) и C2 (V_Q)

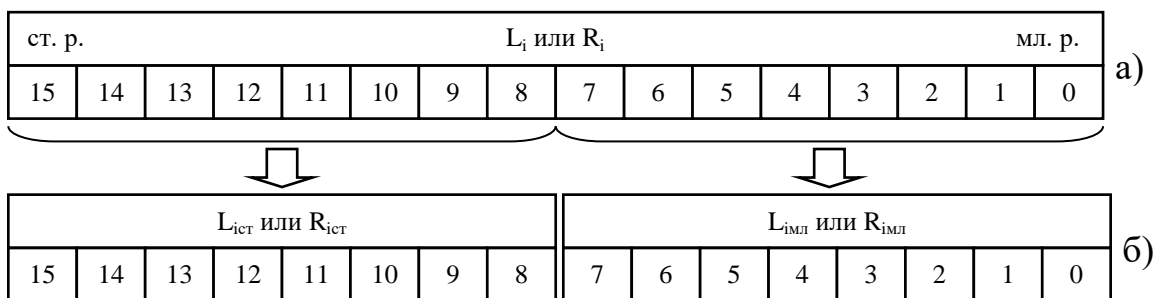


Рис. 2.11. Образование символов из 16-разрядных отсчетов:

а) 16-разрядный отсчет; б) 8-разрядные символы

В режимах, где используются 16-разрядные отсчеты, символы образуются так же, как в формате CD – путем разделения старших и младших разрядов (рис. 2.11).

В режимах, где используются 12-разрядные отсчеты, квантование, тем не менее, осуществляется с 16-разрядной точностью при помощи тех же самых 16-разрядных АЦП и выражается в дополнительном коде (биполярном).

После этого 16-разрядные отсчеты преобразуются в 12-разрядные с помощью 4-сегментного нелинейного преобразования, и восьмиразрядные символы из них образуются, как показано на рис. 2.12. Восемь старших разрядов каждого из отсчетов левого и правого стереоканалов образуют два символа $L_{\text{ист}}$ и $R_{\text{ист}}$, а по четыре младших разряда обоих отсчетов объединяются в один символ $LR_{\text{имл}}$.

Теперь следует вернуться к распределению информационных символов между дорожками записи. Как говорилось выше, на каждой дорожке в режиме I (48 кГц) нужно разместить 1440 отсчетов звукового сигнала или 2880 символов. Емкость же ИКМ-зоны, включая проверочные символы, составляет $32 \times 128 = 4096$ символов. Причем, исходя из правил кодирования кодов C1 и C2, информационных символов среди них может быть даже больше, чем 2880, а именно – 2912. Получается, что 32 символа при этом окажутся лишними. Они при записи заменяются нулевыми значениями. В режимах с частотой дискретизации 44,1 кГц таких «лишних» символов будет 66, а в режимах с частотой дискретизации 32 кГц еще больше – 992.

Алгоритм перемежения реализуется способом, в котором расположение символов и тем более отсчетов не так очевидно, как было показано на рис. 2.2. Для его осуществления символы записываются в память объемом, как минимум, 4096 байт, ячейки которой имеют структуру, соответствующую таблице, показанной на рис. 2.13. Номер столбца в этой таблице соответствует порядковому номеру будущего блока данных в ИКМ-зоне, а номер строки – порядковому номеру символа в блоке.

Место каждого очередного символа, записываемого в таблицу, вычисляется по специальным формулам, отражающим зависимость номера столбца (адреса блока), номера строки (символа в блоке), а также выбор одной из двух дорожек в кадре (полярности угла наклона зазора головки) от порядкового номера отсчета и вспомогательных параметров a и u .

Параметры a и u определяются по следующим правилам:

для $L_{\text{ист}}$ и $L_{\text{имл}}$ $a = 0$;

для $R_{\text{ист}}$ и $R_{\text{имл}}$ $a = 1$;

для $L_{\text{ист}}$ и $R_{\text{ист}}$ $u = 0$;

для $L_{\text{имл}}$ и $R_{\text{имл}}$ $u = 1$.

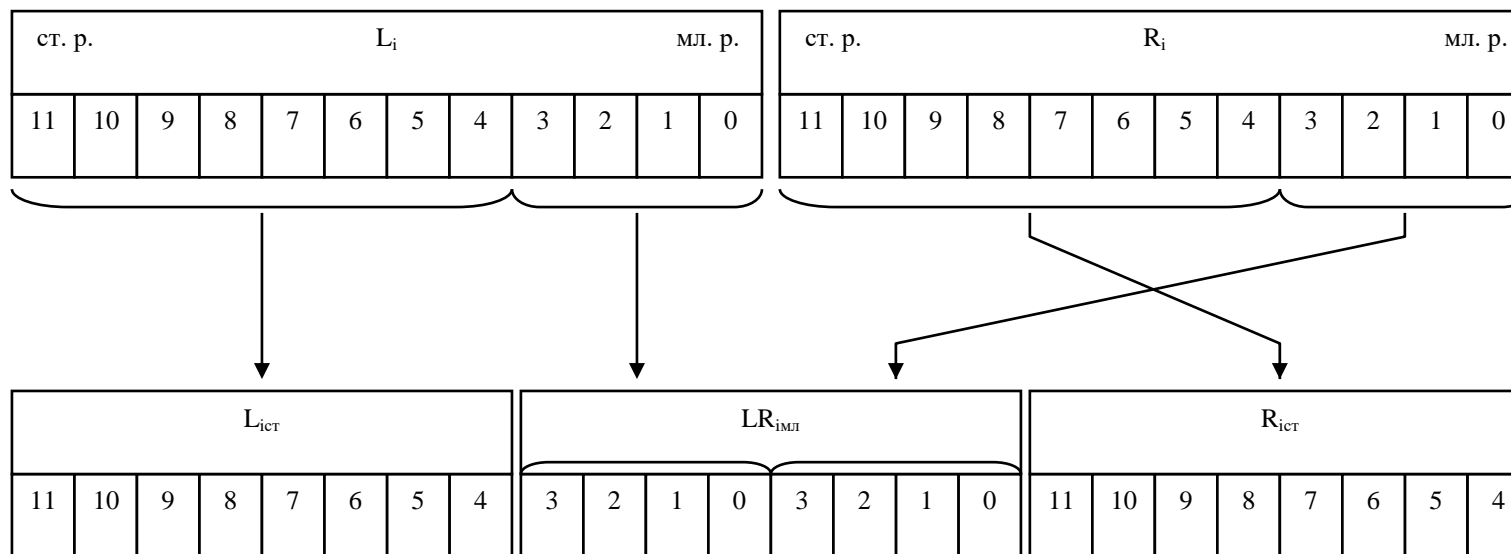


Рис. 2.12. Образование символов из 12-разрядных отсчетов

	0	1	2	3	51	52	53	75	76	77	126	127
0	D _{0,0}	D _{1,0}	D _{2,0}	D _{3,0}	D _{51,0}	Q _{51,0}	Q _{53,0}	Q _{75,0}	D _{76,0}	D _{77,0}	D _{126,0}	D _{127,0}
1	D _{0,1}	D _{1,1}	D _{2,1}	D _{3,1}	D _{51,1}	Q _{52,1}	Q _{53,1}	Q _{75,1}	D _{76,1}	D _{77,1}	D _{126,1}	D _{127,1}
2	D _{0,2}	D _{1,2}	D _{2,2}	D _{3,2}	D _{51,2}	Q _{52,2}	Q _{53,2}	Q _{75,2}	D _{76,2}	D _{77,2}	D _{126,2}	D _{127,2}
3	D _{0,3}	D _{1,3}	D _{2,3}	D _{3,3}	D _{51,3}	Q _{52,3}	Q _{53,3}	Q _{75,3}	D _{76,3}	D _{77,3}	D _{126,3}	D _{127,3}
4	D _{0,4}	D _{1,4}	D _{2,4}	D _{3,4}	D _{51,4}	Q _{52,4}	Q _{53,4}	Q _{75,4}	D _{76,4}	D _{77,4}	D _{126,4}	D _{127,4}
23	D _{0,23}	D _{1,23}	D _{2,23}	D _{3,23}	D _{51,23}	Q _{52,23}	Q _{53,23}	Q _{75,23}	D _{76,23}	D _{77,23}	D _{126,23}	D _{127,23}
24	D _{0,0}	P _{1,24}	D _{2,24}	P _{3,24}	P _{51,24}	Q _{52,24}	P _{53,24}	P _{75,24}	D _{76,24}	P _{77,24}	D _{126,24}	P _{127,24}
25	D _{0,0}	P _{1,25}	D _{2,25}	P _{3,25}	P _{51,25}	Q _{52,25}	P _{53,25}	P _{75,25}	D _{76,25}	P _{77,25}	D _{126,25}	P _{127,25}
26	D _{0,0}	P _{1,26}	D _{2,26}	P _{3,26}	P _{51,26}	Q _{52,26}	P _{53,26}	P _{75,26}	D _{76,26}	P _{77,26}	D _{126,26}	P _{127,26}
27	D _{0,0}	P _{1,27}	D _{2,27}	P _{3,27}	P _{51,27}	Q _{52,27}	P _{53,27}	P _{75,27}	D _{76,27}	P _{77,27}	D _{126,27}	P _{127,27}
28	D _{0,0}	P _{1,28}	D _{2,28}	P _{3,28}	P _{51,28}	Q _{52,28}	P _{53,28}	P _{75,28}	D _{76,28}	P _{77,28}	D _{126,28}	P _{127,28}
29	D _{0,0}	P _{1,29}	D _{2,29}	P _{3,29}	P _{51,29}	Q _{52,29}	P _{53,29}	P _{75,29}	D _{76,29}	P _{77,29}	D _{126,29}	P _{127,29}
30	D _{0,0}	P _{1,30}	D _{2,30}	P _{3,30}	P _{51,30}	Q _{52,30}	P _{53,30}	P _{75,30}	D _{76,30}	P _{77,30}	D _{126,30}	P _{127,30}
31	D _{0,0}	P _{1,31}	D _{2,31}	P _{3,31}	P _{51,31}	Q _{52,31}	P _{53,31}	P _{75,31}	D _{76,31}	P _{77,31}	D _{126,31}	P _{127,31}

Рис. 2.13. Перемежение данных в ИКМ-зоне

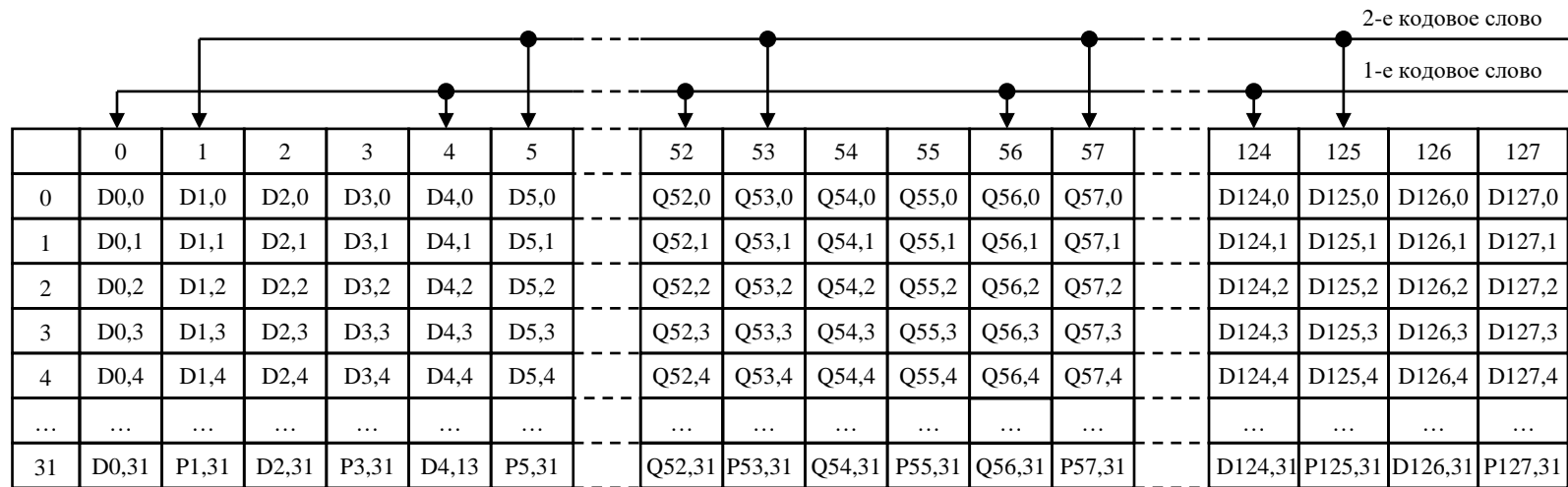


Рис. 2.14. Образование кодовых слов кода C2

При этом:

- для режима с $F_d = 48$ кГц $i = 0 - 1439$;
- для режимов с $F_d = 44,1$ кГц $i = 0 - 1322$;
- для режимов с $F_d = 32$ кГц $i = 0 - 959$.

Формулы, выражающие положение символов в таблице перемежения (кроме режимов III и IV), выглядят следующим образом.

Полярность угла наклона головки:

$$SIGN(-1)^{a+1}$$

Номер (адрес) блока:

$$i(\text{mod}52) + 75(i \text{ mod} 2) + INT \frac{i}{832}$$

Номер символа:

$$2(u + INT \frac{i}{52}) - (INT \frac{i}{52}) \text{ mod} 2 - 32 \cdot INT \frac{i}{832}$$

Аналогичные вычисления, но уже по другим формулам и с применением других вспомогательных параметров, производятся при определении положения символов в таблице для режимов III и IV. Их можно отыскать в [11].

Согласно рис. 2.13 проверочные символы Р внутреннего кода С1 должны располагаться в нижней (по рисунку) части нечетных столбцов, а проверочные символы Q внешнего кода С2 – в центральной части таблицы. Информационные символы обозначены буквой D с соответствующими индексами.

Образование кодовых слов происходит следующим образом. Вначале производится кодирование внешним кодом С2. Для этого в кодирующее устройство из памяти считываются вначале 26 символов из нулевой строки с адресами 0, 4, 8, ..., 124 (рис. 2.14), являющиеся информационными символами кодового слова кода С2. По ним кодер вычисляет 6 проверочных символов Q. Полученные символы Q заносятся в ту же нулевую строку таблицы в столбцы с номерами 52, 56, 60, 64, 68, 72.

Затем считываются и подаются в кодер символы из той же строки с адресами 1, 5, 9, ..., 125. Полученные проверочные символы Q записываются по адресам 53, 57, 61, 65, 69, 73. Так же кодируются и другие символы нулевой строки. После этого по той же схеме производится кодирование следующей строки, затем следующей и так до конца таблицы.

Однако для блоков с нечетными адресами последние 8 символов пока остаются пустыми – они зарезервированы для проверочных символов кода С1, которые вычисляются позже. Поэтому в последних

восьми строках таблицы получится не по четыре кодовых слова внешнего кода, а только по два.

После того, как кодирование кодом $C2$ завершено, начинается кодирование внутренним кодом $C1$.

Для образования кодовых слов этого кода символы извлекаются из таблицы, как показано на рис. 2.15. Первое кодовое слово образуется из четных символов двух смежных блоков (столбцов). Вычисленные проверочные символы (здесь их будет четыре) записываются в четыре последние четные строки нечетного столбца.

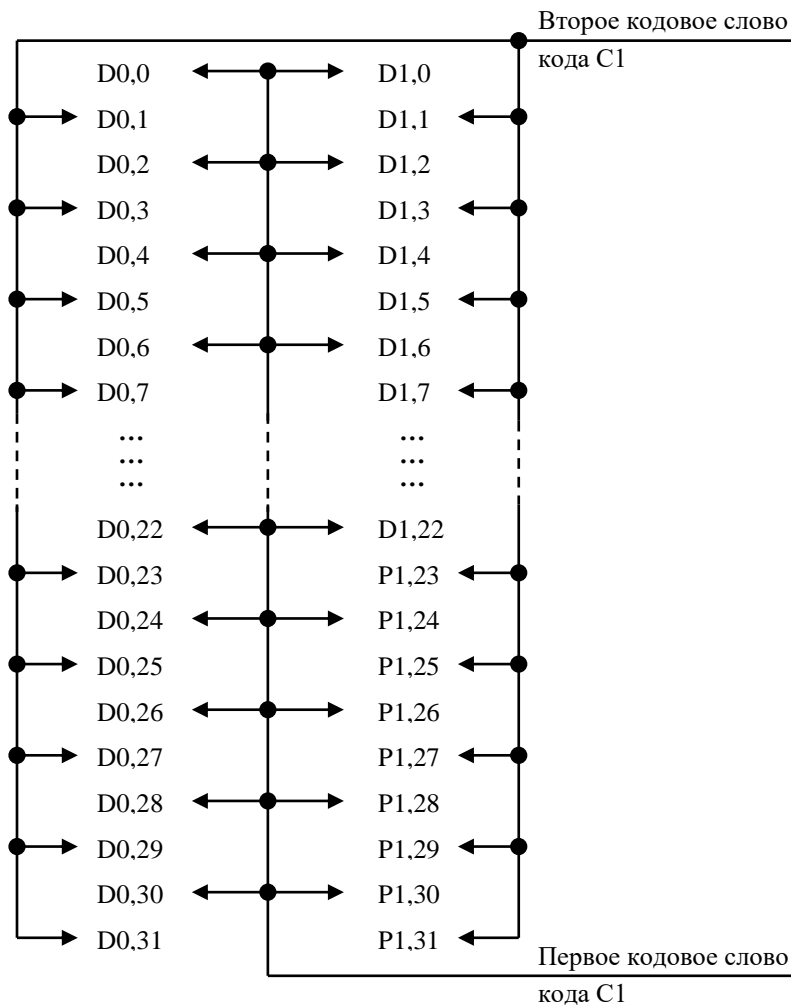


Рис. 2.15. Образование кодовых слов кода $C2$

Второе кодовое слово внутреннего кода $C1$ образуется из нечетных символов тех же столбцов (блоков), а четыре вычисленных проверочных символа записываются в последние нечетные строки того же (нечетного) столбца, в котором уже находятся четыре ранее вычисленных проверочных символа первого кодового слова. Таким образом, первый (четный) столбец (а значит, и блок) будет содержать

только информационные символы, а второй (нечетный) – 24 информационных и 8 проверочных символов. Та же процедура продлевается и со всеми другими парами столбцов, включая столбцы с 52 по 75, содержащие проверочные символы Q кода C2. Для кода C1 они будут такими же информационными символами, как и все прочие символы таблицы.

Сформированная таблица соответствует данным, записываемым в ИКМ-зону одной из дорожек с помощью головки с положительным углом наклона зазора. При этом запись производится поблочно, начиная с нулевого столбца (блока).

Такая же таблица формируется и для записи в ИКМ-зону другой дорожки с помощью головки с отрицательным углом наклона зазора. Полный объем данных соответствует одному кадру информации.

Из приведенного описания процедуры кодирования и перемежения видно, что код C1 предназначен для коррекции коротких (случайных) ошибок. Кроме того, он используется для обнаружения пакетов ошибок. Если длина искажения превышает его корректирующие возможности, то все символы блока отмечаются указателями стирания. Используя такие указатели, внешний код C2 может исправить до шести ошибок.

Если бы указателей не было, то предельное количество ошибок было бы в два раза меньше – всего три. При длине пакета в четыре блока в одном кодовом слове кода C2 окажется только один искаженный символ. Но поскольку код может исправить до шести ошибок (стираний), то даже при длине пакета ошибок в 24 блока полная коррекция все еще возможна. Если выразить такое повреждение в длине участка магнитной ленты, то оно будет соответствовать 2,5 мм. Появление таких больших повреждений или соринок в реальных условиях маловероятно. Поэтому корректирующие возможности кодов C1 и C2 можно считать вполне достаточными, и интерполяции в выходном сигнале будут крайне редки.

Однако вполне возможна ситуация, когда одна из головок загрязнится и перестанет считывать дорожку. Магнитная запись, в отличие от оптической, предполагает наличие тесного контакта между лентой и головкой. И как бы тщательно ни была отполирована головка, и как бы надежно ни была защищена лента, рано или поздно наступит момент, когда в зазоре головки накопятся пылинки, частички осыпавшегося магнитного слоя, и она перестанет воспринимать записанный сигнал. Поскольку, как было сказано выше, запись информации осуществляется так, что на одной дорожке находятся четные отсчеты одного и нечетные отсчеты другого звукового канала, то если одна из головок выйдет из строя, по воспроизведенным с другой дорожки от-

счетам сигнал может быть восстановлен с помощью интерполяции. Правда, качество его при этом заметно ухудшится, что выразится в появлении искажений на высоких частотах. Это должно побудить владельца магнитофона к тому, чтобы почистить головки.

Процедуры декодирования кодов Рида-Соломона C1 и C2 могут сильно отличаться у разных моделей магнитофонов. Здесь возможно использование различных стратегий – от упрощенной до суперсложной – в зависимости от желания разработчика.

2.4.3. Помехоустойчивое кодирование субданных

Все сказанное выше относилось к помехоустойчивому кодированию ИКМ-данных. Однако данные субкода в формате R-DAT также защищены от ошибок кодом Рида-Соломона с перемежением. Здесь использован код SP[32,28], проверочная матрица H_{SP} и вектор-столбец V_{SP} которого приведены на рис. 2.16. Очевидно, что этот код полностью совпадает с кодом C1[32,28] (код P), которым кодируются ИКМ-данные. Порождающий многочлен $G_{SP}(x)$ кода SP также совпадает с порождающим многочленом $G_P(x)$ кода C1:

$$G_{SP}(x) = \prod_{i=0}^5 (x - \alpha^i) = G_P(x)$$

или

$$G_{SP}(x) = (x - 1)(x - \alpha)(x - \alpha^2)(x - \alpha^3) = G_P(x).$$

Символы кода SP являются элементами того же поля Галуа GF(28), что и символы кодов C1 и C2, с тем же самым порождающим многочленом $F(x)$ и примитивным элементом $\alpha = [00000010]$. Однако второго кода Рида-Соломона, аналогичного коду C2[32,26], здесь уже нет. Код SP – единственный. Поэтому перемежение субданных осуществляется проще, без сложных вычислений позиций каждого символа в таблице, вид которой для зон 1 и 2 субкода приведен на рис. 2.17. Здесь первая цифра индекса каждого символа отражает номер столбца (адрес блока), вторая – номер позиции символа в блоке.

Из таблицы на рис. 2.17 и конфигурации вектор-столбца V_{SP} видно, что формирование кодовых слов кода SP производится так же, как и при кодировании кода C1, а проверочные символы SP двух смежных кодовых слов также размещаются на восьми последних позициях нечетных столбцов. Разумеется, правила декодирования кода SP те же, что и для кода C1.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
0	SD0,0	SD1,0	SD2,0	SD3,0	SD4,0	SD5,0	SD6,0	SD7,0	SD8,0	SD9,0	SD10,0	SD11,0	SD12,0	SD13,0	SD14,0	SD15,0		
1	SD0,1	SD1,1	SD2,1	SD3,1	SD4,1	SD5,1	SD6,1	SD7,1	SD8,1	SD9,1	SD10,1	SD11,1	SD12,1	SD13,1	SD14,1	SD15,1		
2	SD0,2	SD1,2	SD2,2	SD3,2	SD4,2	SD5,2	SD6,2	SD7,2	SD8,2	SD9,2	SD10,2	SD11,2	SD12,2	SD13,2	SD14,2	SD15,2		
3	SD0,3	SD1,3	SD2,3	SD3,3	SD4,3	SD5,4	SD6,3	SD7,3	SD8,3	SD9,3	SD10,3	SD11,3	SD12,3	SD13,4	SD14,3	SD15,3		
23	SD0,23	SD1,23	SD2,23	SD3,23	SD4,23	SD5,23	SD6,23	SD7,23	SD8,23	SD9,23	SD10,23	SD11,23	SD12,23	SD13,23	SD14,23	SD15,23		
24	SD0,24	SP1,24	SD2,24	SP3,24	SD4,24	SP5,24	SD6,24	SP7,24	SD8,24	SP9,24	SD10,24	SP11,24	SD12,24	SP13,24	SD14,24	SP15,24		
25	SD0,25	SP1,25	SD2,25	SP3,25	SD4,25	SP5,25	SD6,25	SP7,25	SD8,25	SP9,25	SD10,25	SP11,25	SD12,25	SP13,25	SD14,25	SP15,25		
26	SD0,26	SP1,26	SD2,26	SP3,26	SD4,26	SP5,26	SD6,26	SP7,26	SD8,26	SP9,26	SD10,26	SP11,26	SD12,26	SP13,26	SD14,26	SP15,26		
27	SD0,27	SP1,27	SD2,27	SP3,27	SD4,27	SP5,27	SD6,27	SP7,27	SD8,27	SP9,27	SD10,27	SP11,27	SD12,27	SP13,27	SD14,27	SP15,27		
28	SD0,28	SP1,28	SD2,28	SP3,28	SD4,28	SP5,28	SD6,28	SP7,28	SD8,28	SP9,28	SD10,28	SP11,28	SD12,28	SP13,28	SD14,28	SP15,28		
29	SD0,29	SP1,29	SD2,29	SP3,29	SD4,29	SP5,29	SD6,29	SP7,29	SD8,29	SP9,29	SD10,29	SP11,29	SD12,29	SP13,29	SD14,29	SP15,29		
30	SD0,30	SP1,30	SD2,30	SP3,30	SD4,30	SP5,30	SD6,30	SP7,30	SD8,30	SP9,30	SD10,30	SP11,30	SD12,30	SP13,30	SD14,30	SP15,30		
31	SD0,31	SP1,31	SD2,31	SP3,31	SD4,31	SP5,31	SD6,31	SP7,31	SD8,31	SP9,31	SD10,31	SP11,31	SD12,31	SP13,31	SD14,31	SP15,31		
	Зона субкода 1 (8 блоков)									Зона субкода 2 (8 блоков)								

Рис. 2.17. Таблица перемежения субкода

2.5. Канальное кодирование

Так же как в формате CD, в формате R-DAT информационный поток перед записью необходимо преобразовать к виду, обеспечивающему наиболее полное его согласование со свойствами канала магнитной записи, т.е. осуществить канальную модуляцию [22-24]. Требования к модулирующему коду в цифровой магнитной записи сходны с требованиями к модулирующему коду в оптической записи. Здесь также требуется обеспечить самосинхронизируемость записываемого сигнала и устранить из него постоянную составляющую.

Для этой цели в формате R-DAT используется канальный код 8-10, основанный на замене 8-разрядных информационных символов 10-разрядными канальными. После этого так же, как и в EFM-модуляции, полученная последовательность преобразуется по способу NRZI, когда «единице» соответствует изменение уровня сигнала (перепад), а «нулю» - сохранение прежнего уровня. Считается, что если после такого преобразования число канальных бит высокого уровня равно числу канальных бит низкого уровня, то постоянная составляющая всей комбинации будет равна «нулю» ($DSV = 0$).

Для преобразования всех 8-разрядных символов потребовалось бы $2^8 = 256$ 10-разрядных комбинаций.

Однако для обеспечения самосинхронизируемости кода нужно ограничить длину последовательностей одного уровня, иными словами – количество подряд следующих «нулей» между двумя соседними «единицами». В коде 8-10 такое ограничение равно трем. Это максимальное количество «нулей», которые могут существовать между двумя соседними «единицами». Следовательно, после NRZI-преобразования длина последовательностей одного уровня будет ограничена четырьмя канальными интервалами. Снизу число интервалов одного уровня не ограничивается, т.е. «единицы» могут следовать подряд – в отличие от кода EFM, где минимальное число «нулей» между «единицами» равно двум. В магнитной записи чем выше частота записываемого сигнала, тем выше его уровень при воспроизведении. Но бесконечно повышать частоту записи тоже нельзя, так как при этом уменьшается окно детектирования, т.е. допуск на смещение фронтов выделяемых импульсов (джиттер) [25].

Кроме того, поскольку соединительные разряды в коде 8-10 не используются, то необходимо так выбирать 10-разрядные комбинации, чтобы слишком длинные последовательности «нулей» не получались бы и при их соединении.

С учетом вышесказанного, из $2^{10} = 1024$ 10-разрядных комбинаций всем перечисленным требованиям удовлетворяют лишь 153.

Оставшиеся 103 комбинации пришлось выбрать из тех, которые имеют ненулевое значение DSV. Однако вместо одной 10-разрядной комбинации каждому из этих 103 8-разрядных символов поставлены в соответствие две, отличающиеся друг от друга только знаком DSV. Одна из них имеет значение $DSV = +2$, другая – $DSV = -2$. Причем, и конфигурации их отличаются только первым разрядом. У одной он – «единица», у другой – «нуль».

В процессе кодирования значение используемой комбинации из такой пары выбирается исходя из значения DSV предыдущей ненулевой комбинации. Например, если для кодирования 8-разрядных символов используются 10-разрядные наборы, не имеющие постоянной составляющей, то и DSV всей последовательности будет равно 0. Если затем встретится байт, которому соответствует 10-разрядная комбинация с ненулевым DSV, то DSV всей последовательности приобретет то значение, какое имеет выбранная 10-разрядная комбинация. Если использована комбинация с $DSV = +2$, то и DSV всей последовательности станет равной +2. Если в дальнейшем вновь встретится байт, которому соответствует 10-разрядная комбинация с ненулевым DSV, то в этом случае будет выбрана комбинация с $DSV = -2$. Таким образом, DSV всей последовательности снова станет равной нулю. Тем самым сохраняется отсутствие постоянной составляющей в потоке данных [26].

Соответствие 8-разрядных и 10-разрядных символов иллюстрируется табл. 2.3. Такое преобразование можно осуществить с помощью ПЗУ (постоянного запоминающего устройства) объемом $256 \times 10 = 2560$ бит. При этом 8-разрядный информационный символ будет служить адресом 10 ячеек с битами 10-разрядного канального символа. Однако это не лучший способ реализации. ПЗУ такого объема достаточно дорого и занимает много места на кристалле при интегральном исполнении преобразователя. Гораздо выгоднее использовать логическую матрицу, состоящую из элементов И, ИЛИ, НЕ и ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ, соединенных по определенной схеме. С помощью компьютерного моделирования можно вывести формулы, отражающие зависимость каждого разряда 10-разрядного канального символа ($Y_1 - Y_{10}$) от значений разрядов 8-разрядного информационного символа ($X_1 - X_8$). Такие формулы называются **логическими функциями**. В них значения $X_1 - X_8$ являются входными переменными, а значения разрядов канального символа $Y_1 - Y_{10}$ – функциями от них.

$$Y_i = F(X_1, X_2, \dots, X_8),$$

где $i = 1, 2, \dots, 10$.

Таблица 2.3

**Фрагмент таблицы соответствия информационных символов
и канальных кода 8-10 с учетом DSV и параметра Q**

Информационный символ	Q` = -1			Q` = 1		
	Кодовый символ	DSV	Q	Кодовый символ	DSV	Q
00000000	0101010101	0	1	0101010101	0	-1
00000001	0101010111	0	-1	0101010111	0	1
00000010	0101011101	0	-1	0101011101	0	1
00000011	0101011111	0	1	0101011111	0	-1
00000100	0101001001	0	-1	0101001001	0	1
00000101	0101001011	0	1	0101001011	0	-1
00000110	0101001110	0	1	0101001110	0	-1
00000111	0101011010	0	1	0101011010	0	-1
00001000	0101110101	0	-1	0101110101	0	1
00001001	0101110111	0	1	0101110111	0	-1
00001010	0101111101	0	1	0101111101	0	-1
00001011	0101111111	0	-1	0101111111	0	1
00001100	0101101001	0	1	0101101001	0	-1
00001101	0101101011	0	-1	0101101011	0	1
00001110	0101101110	0	-1	0101101110	0	1
00001111	0101111010	0	-1	0101111010	0	1
00010000	1101010010	0	1	1101010010	0	-1
00010001	0100010010	2	-1	1100010010	-2	-1
00010010	0101010010	0	-1	0101010010	0	1
00010011	0101110010	0	1	0101110010	0	-1
00010100	1101110001	2	1	0101110001	-2	1
00010101	1101110011	2	-1	0101110011	-2	-1
00010110	1101110110	2	-1	0101110110	-2	-1
00010111	1101110010	0	-1	1101110010	0	1
00011000	0101100101	2	-1	1101100101	-2	-1
00011001	0101100111	2	1	1101100111	-2	1
00011010	0101101101	2	1	1101101101	-2	1
00011011	0101101111	2	-1	1101101111	-2	-1
00011100	0101111001	2	1	1101111001	-2	1
00011101	0101111011	2	-1	1101111011	-2	-1
00011110	0101111110	2	-1	1101111110	-2	-1
00011111	0101101010	2	-1	1101101010	-2	-1

В результате моделирования получается следующий набор логических функций [27]:

$$\begin{aligned}
 Y_1 &= X_1 + X_3 Z_2 + Z_1 [\overline{X_3} \oplus \overline{X_6} (X_7 + X_8)]; \\
 Y_2 &= X_1 (X_2 + X_4 \overline{X_5}) + \overline{X_1} (\overline{X_2} + \overline{X_3}); \\
 Y_3 &= \overline{X_1} X_3 + X_1 (\overline{X_4} + X_5) + X_2 X_4 X_5; \\
 Y_4 &= X_1 (X_3 + X_2 X_4 \overline{X_5}) + X_3 X_4 X_5 + X_3 Z_2 + (\overline{X_1} \overline{X_2} \oplus \overline{X_6} \overline{X_7} X_8 Z_1); \\
 Y_5 &= (X_1 X_2 + \overline{X_4}) \overline{X_5} + \overline{X_1} \overline{X_2} X_3 X_4 X_5 + Z_1 \overline{X_6} (\overline{X_7} + \overline{X_8}); \\
 Y_6 &= \overline{X_1} \overline{X_5} [X_3 + (X_2 \oplus X_4)] + [(\overline{X_4} + X_3 \overline{X_5}) \oplus X_6 (\overline{X_7} + \overline{X_8})]; \\
 Y_7 &= \overline{X_6} \overline{X_7} + Z_1 + (X_2 + X_3) Z_2; \\
 Y_8 &= X_6 X_7 \overline{X_8} + \overline{X_6} Z_1; \\
 Y_9 &= X_8 + X_6 X_7 + \overline{X_6} Z_1; \\
 Y_{10} &= X_6 \overline{X_7} + \overline{X_6} Z_1. \\
 Z_1 &= \overline{X_1} (\overline{X_2} + X_3) X_4 \overline{X_5}; \\
 Z_2 &= \overline{X_1} X_4 X_5 X_6 (\overline{X_7} + \overline{X_8}).
 \end{aligned}$$

Функции Z_1 и Z_2 являются вспомогательными, упрощающими запись и реализацию основных функций $Y_1 - Y_{10}$. На рис. 2.18 показан пример реализации функции $Y_2 = F(X_1, X_2, \dots, X_8)$ с помощью элементов И, ИЛИ и НЕ. Подобным же образом реализуются и другие функции $Y_i = F(X_1, X_2, \dots, X_8)$.

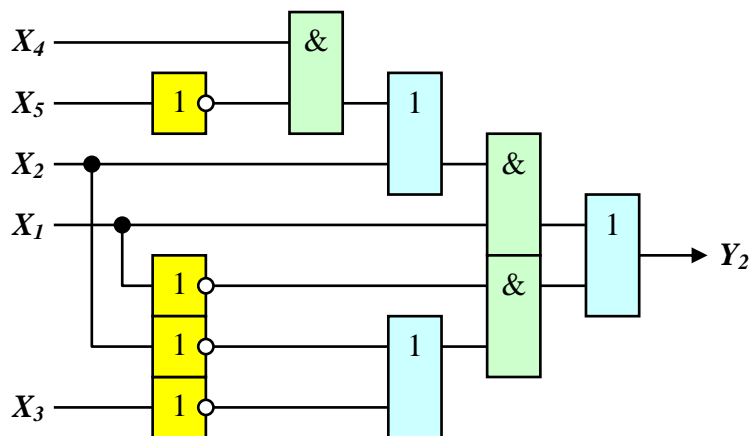


Рис. 2.18. Пример реализации логической функции $Y_2 = F(X_1, X_2, \dots, X_8)$

С помощью полученных логических функций формируются только комбинации с $DSV = 0$ и $DSV = +2$. Комбинации с $DSV = -2$ легко получаются из наборов с $DSV = +2$ простым инвертированием первого разряда Y_1 :

$$Y_i(DSV = -2) = \overline{Y_i}(DSV = +2)$$

Для того, чтобы принять решение о том, какой вариант набора из пары с разными DSV использовать, нужно знать значение DSV предыдущего набора. Определяется оно весьма интересным способом. Так как «единица» в NRZI-представлении изменяет значение уровня сигнала на противоположное, очевидно, что если в паре канальных бит второй бит – «единица» (независимо от значения первого бита), то такая пара будет иметь $DSV = 0$. Если проверить на четность пять четных разрядов 10-разрядного канального символа, и результат окажется равным «единице», то весь символ может иметь значение DSV равным или 0, или ± 4 , или ± 8 . Если результат окажется равным нулю, то DSV может принимать значения ± 2 , ± 6 или ± 10 . Однако символы, формируемые логической матрицей, могут иметь значение DSV только 0 или ± 2 и никакое другое. Поэтому результат вышеописанной проверки однозначно характеризует DSV рассматриваемого символа. Схема для осуществления такой проверки показана на рис. 2.19.

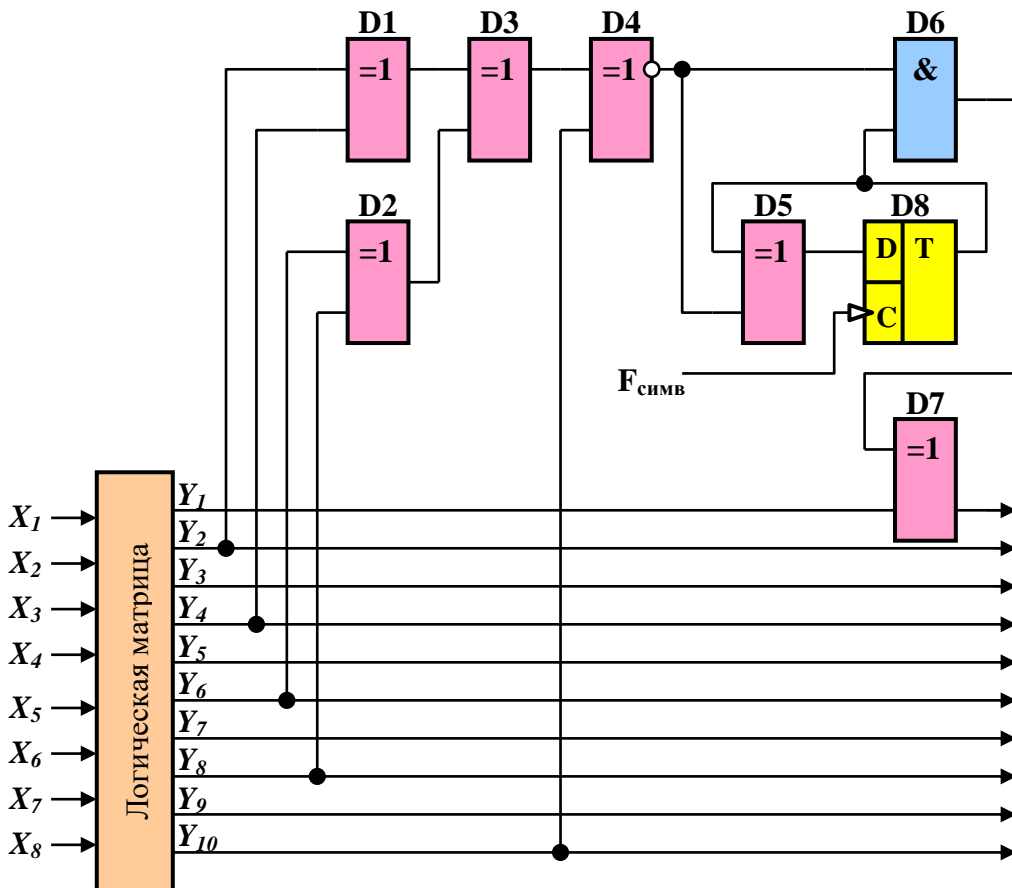


Рис. 2.19. Схема контроля DSV канального символа

Работает она следующим образом. Элементы ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ D1-D4 осуществляют проверку на четность четных разрядов (Y_2, Y_4, Y_6, Y_8 и Y_{10}) 10-разрядного канального символа, формируемого логической матрицей.

Элемент D7 служит управляемым инвертором, с помощью которого можно попеременно изменять полярность разряда Y_1 , когда на выходе логической матрицы появляются канальные символы с $DSV = +2$. При этом если на выходе элемента D6 сформировать «единицу», то элемент D7 будет инвертировать значение разряда Y_1 , а если сформировать «нуль», то значение разряда Y_1 не изменится.

Чтобы на выходе элемента D6 сформировалась «единица», нужно, чтобы «единицы» были на обоих его входах. На верхнем (по схеме) входе «единица» будет тогда, когда сумма четных разрядов канального символа будет равна «нулю» (что и укажет на то, что его $DSV = +2$). Поскольку элемент D4 инвертирующий, то он при этом вырабатывает необходимую «единицу». «Единица» на втором (нижнем по схеме) входе элемента D6 будет в том случае, если таково состояние триггера D8. Если это так, то на выходе элемента D6 будет «единица», и элемент D7 проинвертирует разряд Y_1 , изменив DSV канального символа с $+2$ на -2 . У следующего же канального символа с $DSV = +2$ для поддержания общей суммы DSV последовательности, равной нулю, разряд Y_1 инвертироваться не должен. Поэтому триггер D8 должен изменить свое состояние на противоположное. Поскольку его следующее состояние зависит от потенциала на входе D в момент появления на входе C переднего фронта тактового импульса частоты $F_{симв}$, то необходимый для этого «нуль» формируется элементом ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ D5. При наличии на его входах двух «единиц» на выходе будет «нуль» и триггер изменит своё состояние.

Теперь, если вновь появится канальный символ с $DSV = +2$, то, хотя на выходе элемента D4 будет «единица», инвертирования разряда Y_1 не произойдет. «Нуль» с выхода триггера D8 закроет элемент D6. После этого сформированная элементом D5 «единица» на входе D триггера снова заставит его изменить свое состояние, подготавливая к очередной операции инвертирования.

Когда сумма разрядов Y_2, Y_4, Y_6, Y_8 и Y_{10} равна «единице», DSV канального символа равно «нулю». Это означает, что никаких действий с разрядом Y_1 производить не следует. В этом случае элемент D4 инвертирует полученную «единицу» и «нулем» на своем выходе закроет элемент D6. На выходе элемента D6, вне зависимости от состояния триггера D8, также будет «нуль», и элемент D7 пропустит разряд Y_1 без изменения. При этом, поскольку на выходе элемента D4 логический «нуль», то состояние D-входа триггера, определяемое

элементом D5, будет таким же, как и состояние его выхода, и передним фронтом импульса частоты $F_{\text{симв}}$ это состояние подтвердится.

Таким образом, при появлении канальных символов с $DSV = 0$ никаких изменений в их конфигурации производиться не будет. При появлении же символов с $DSV = +2$ будет происходить поочередное изменение знака DSV с тем, чтобы результирующее значение оставалось равным «нулю».

В табл. 2.3 рядом со значением каждого 10-разрядного символа указано еще и значение уровня сигнала Q в его конце после осуществления NRZI-преобразования. Значение Q зависит от уровня сигнала Q' перед началом данного символа. Если $Q' = +1$, то уровень – высокий, если $Q' = -1$, то уровень – низкий. Левая колонка 10-разрядных символов соответствует низкому уровню сигнала в конце предыдущего символа ($Q' = -1$), правая – высокому уровню ($Q' = +1$).

Каждый очередной 10-разрядный канальный символ выбирается из таблицы исходя из значения 8-разрядного информационного символа и значения параметра Q' (рис. 2.20).

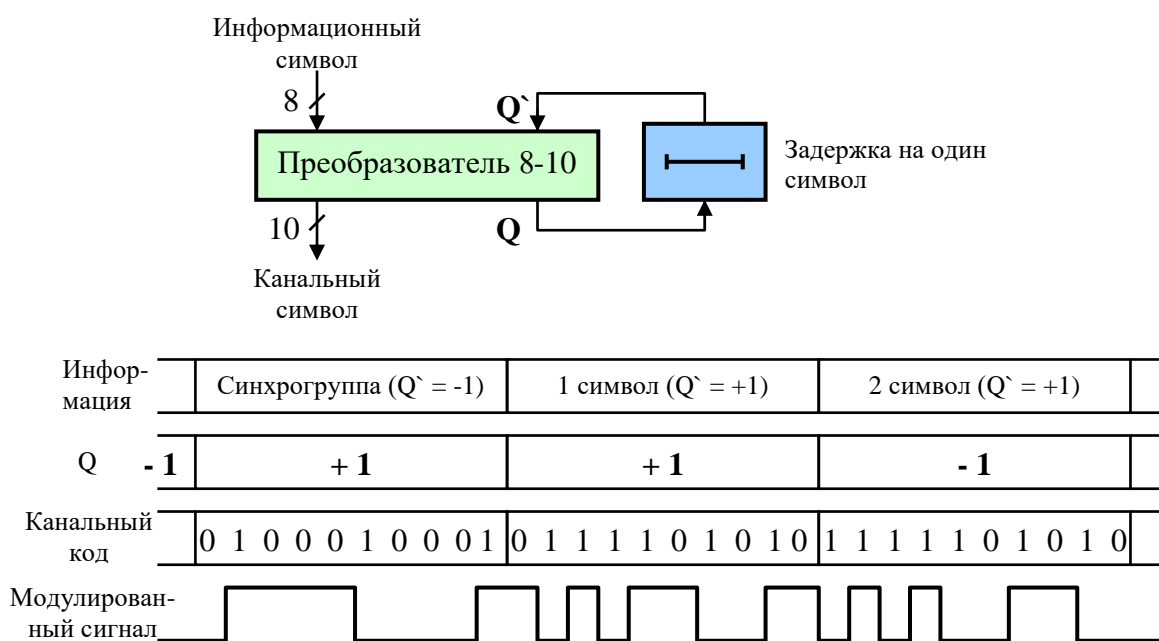


Рис. 2.20. Процедура кодирования информации кодом 8-10 с учетом параметра Q

2.6. Служебная информация

В формате R-DAT объем служебной информации, записываемой на ленту, в четыре раза больше, чем в формате CD. Эта информация, кроме специально отведенной для нее зоны данных субкода, размеща-

ется еще и в символах кода идентификации ID, которые имеют место в начале каждого блока – как в зоне данных ИКМ (W1 и W2), так и в зоне данных субкода (SW1 и SW2).

Служебная информация, размещаемая в зоне данных субкода, может переписываться и дописываться независимо от музыкальной информации, записанной в ИКМ-зоне. А вот информация, содержащаяся в символах W1 и W2 кода идентификации ИКМ-зоны, может быть записана только вместе с самим музыкальным сигналом. Изменить ее, не изменяя основных данных, невозможно.

Рамки данной книги не позволяют рассмотреть весь объем служебной информации, которым располагает формат R-DAT. Однако с той ее частью, которая определяет функционирование магнитофона в режиме воспроизведения, ознакомиться все же следует. Это та информация, которая записана в символах W1 и W2 кода идентификации ID зоны ИКМ-данных.

В разрядах В0-В6 символа W2 фиксируются адреса блоков данных. Для ИКМ-зоны они могут изменяться от 0 до 127 (от 0000000 до 1111111) в пределах каждой дорожки. Разряд В7 того же символа выражает **код данных**. Для ИКМ-зоны В7 – 0 (для зоны субкода В7 = 1).

Содержание символа W1 для блоков с четными адресами отличается от содержания того же символа для блоков с нечетными адресами.

Рис. 2.21 соответствует содержанию символов W1 и W2 для блоков с четными адресами.

W1								W2							
В7	В6	В5	В4	В3	В2	В1	В0	В7	В6	В5	В4	В3	В2	В1	В0
Код назначения		ID1		Адрес кадра				0	х	х	х	х	0	0	0
ID2		ID3		Адрес кадра				0	х	х	х	х	0	1	0
ID4		ID5		Адрес кадра				0	х	х	х	х	1	0	0
ID6		ID7		Адрес кадра				0	х	х	х	х	1	1	0

Рис. 2.21. Содержание символов W1 и W2 для четных блоков ИКМ-зоны

Здесь в разрядах В0-В3 символа W1 записывается **адрес кадра**. Разумеется, адрес кадра будет одинаковым для всех блоков обеих дорожек данного кадра. Изменяться он может от 0 до 15 (от 0000 до 1111). Таким образом, через каждые 16 пар дорожек отсчет будет начинаться заново, и адреса кадров будут повторяться.

В разрядах В4-В7 символа W1 четных блоков записываются идентификаторы ID1-ID7 и код назначения данных.

Код назначения данных фиксируется в разрядах В7 и В6 первого из четырех последовательных блоков. Для звука В6, В7 = 00.

Расположение **идентификаторов ID1-ID7** ясно из рис. 2.21. Каждый из них несет в себе определенную информацию о самой записи – наличии или отсутствии преимфазиса, частоте дискретизации, числе каналов, способе квантования и целый ряд других данных. Способ кодирования таких данных поясняется табл. 2.4.

Таблица 2.4

**Назначение идентификаторов ID1 – ID7
и кодирование содержащейся в них информации**

	НАЗНАЧЕНИЕ	СОСТОЯНИЕ РАЗЯДОВ
ID1	Преимфазис	В5 В4 0 0 Отсутствует 0 1 50/15 мкс 1 0 Резерв 1 1 Резерв
ID2	Частота дискретизации	В7 В6 0 0 48 кГц 0 1 44,1 кГц 1 0 32 кГц 1 1 Резерв
ID3	Число каналов	В5 В4 0 0 2 канала 0 1 4 канала 1 0 Резерв 1 1 Резерв
ID4	Квантование	В7 В6 0 0 16-разрядное линейное 0 1 12-разрядное нелинейное 1 0 Резерв 1 1 Резерв
ID5	Ширина дорожки	В5 В4 0 0 Нормальная 0 1 Широкая 1 0 Резерв 1 1 Резерв
ID6	Цифровое копирование	В7 В6 0 0 Разрешено 0 1 Резерв 1 0 Запрещено 1 1 Разрешено однократное
ID7	Пакет	В4 В5 Содержимое пакета

Особое место среди упомянутых выше идентификаторов занимает идентификатор ID7, обозначенный в таблице 2.4 как «пакет».

Совокупность 32 таких идентификаторов, расположенных на 32 дорожках 16 последовательных кадров с адресами от 0 до 15 (от 0000 до 1111) в блоках с одинаковыми адресами, составляет в свою очередь **блок данных пакета** (рис. 2.22), а последовательность блоков данных пакета, соответствующих блокам ИКМ-данных с одним и тем же адресом, образует **канал данных пакета**.

Поскольку идентификатор ID7 (как, впрочем, и любой другой идентификатор) присутствует только в одном из восьми последовательных блоков с адресом $6+8n$, а всего в ИКМ-зоне на каждой дорожке располагается 128 блоков данных, то число каналов данных пакета равно $128/8 = 16$. При этом данные пакета должны дублироваться, по крайней мере, в двух каналах. Например, если какие-то данные пакета записываются в каналы с адресами блоков ИКМ-данных $N(N = 6, 14, 22, 30, 38, 46, 54, 62)$, то те же самые данные пакета должны быть записаны в каналы с адресами блоков ИКМ-данных $N+64$.

Каждый блок данных пакета содержит 2×32 (дорожки) = 64 разряда, из которых образуются восемь восьмиразрядных символов PC1 – PC8 (рис. 2.23). Первые четыре разряда символа PC1 – это указатель содержимого блока. Символ PC8 – это результат проверки на четность символов PC1 – PC7.

$$PC8 = PC1 + PC2 + PC3 + PC4 + PC5 + PC6 + PC7,$$

где «+» - это сумма по модулю 2.

Оставшиеся $64 - 4 - 8 = 52$ разряда – это данные пакета.

Связь между содержимым блока данных пакета и указателем поясняется табл. 2.5.

Порядок формирования символов блока данных пакета определяется стандартом [11].

Если идентификатор ID7 не используется, то на его месте должны быть записаны «нули».

Теперь рассмотрим значение символа W1 в блоках с нечетными адресами. Этот случай иллюстрируется рис. 2.24.

Значение символа W2 здесь то же самое, что и для четных блоков, т.е. B0 – B6 – это адрес блока, а B7 – код данных.

Однако данные, содержащиеся в символе W1 нечетных блоков ИКМ-данных, не являются обязательными. В том случае, если они не используются, на их месте должны быть записаны «нули».

Такие необязательные данные включают в себя четыре восьмиразрядных символа кода поиска SC1 – SC3 (Search Code) и четыре восьмиразрядных символа вспомогательного кода AC1 – AC4 (Auxiliary Code).

Таблица 2.5

Связь содержания блока данных пакета с указателем

Указатель	Содержание	Комментарий
0000	Информации нет	PC1 – PC8 – «нули»
0001	Время программы	Индексный номер и текущее время программы
0010	Абсолютное время	Индексный номер и текущее время на ленте
0011	Время записи	Индексный номер и текущее время записи
0100	ТОС	Оглавление (Table of Contents)
0101	Дата	Год, месяц, число, день недели, часы, минуты, секунды
0110	Каталог	Номер кассеты по каталогу
0111	ISRC	Код записи по Международному стандарту (The International Standard Recording Code)
1000 ... 1111	Резерв	

Символ SC1 кода поиска включает в себя флаг зоны (B7) и номер программы (B0 – B6).

Если SC1 = 10000000, то это зона ввода, если SC1 = 11111111, то это зона вывода.

Если SC1 = 0xxxxxxx, то это программная зона, где xxxxxxxx – это номер программы.

Зона ввода расположена в начале ленты. Здесь записывается оглавление (ТОС – Table of Contents). В дальнейшем сюда могут вноситься изменения, связанные с перенумерацией фрагментов записи или заменой части материала.

Зона вывода расположена в конце ленты и может использоваться для индикации конца одной программы и начала другой программы.

Если зона вывода используется, то информация в нее должна быть записана, по меньшей мере, в 300 последовательных кадров.

Символ SC2 состоит из четырехразрядного номера индекса (B4-B7), флага начала (B3) и старших разрядов кода абсолютного времени «часы 1» (B0-B2).

Номер индекса 0000 обозначает период молчания в начале программы. Когда сигнал появляется, то индекс становится равным 0001 и в дальнейшем последовательно увеличивается на единицу.

Состояние флага начала «0» указывает либо на середину программы, либо на зону ввода, либо на зону вывода.

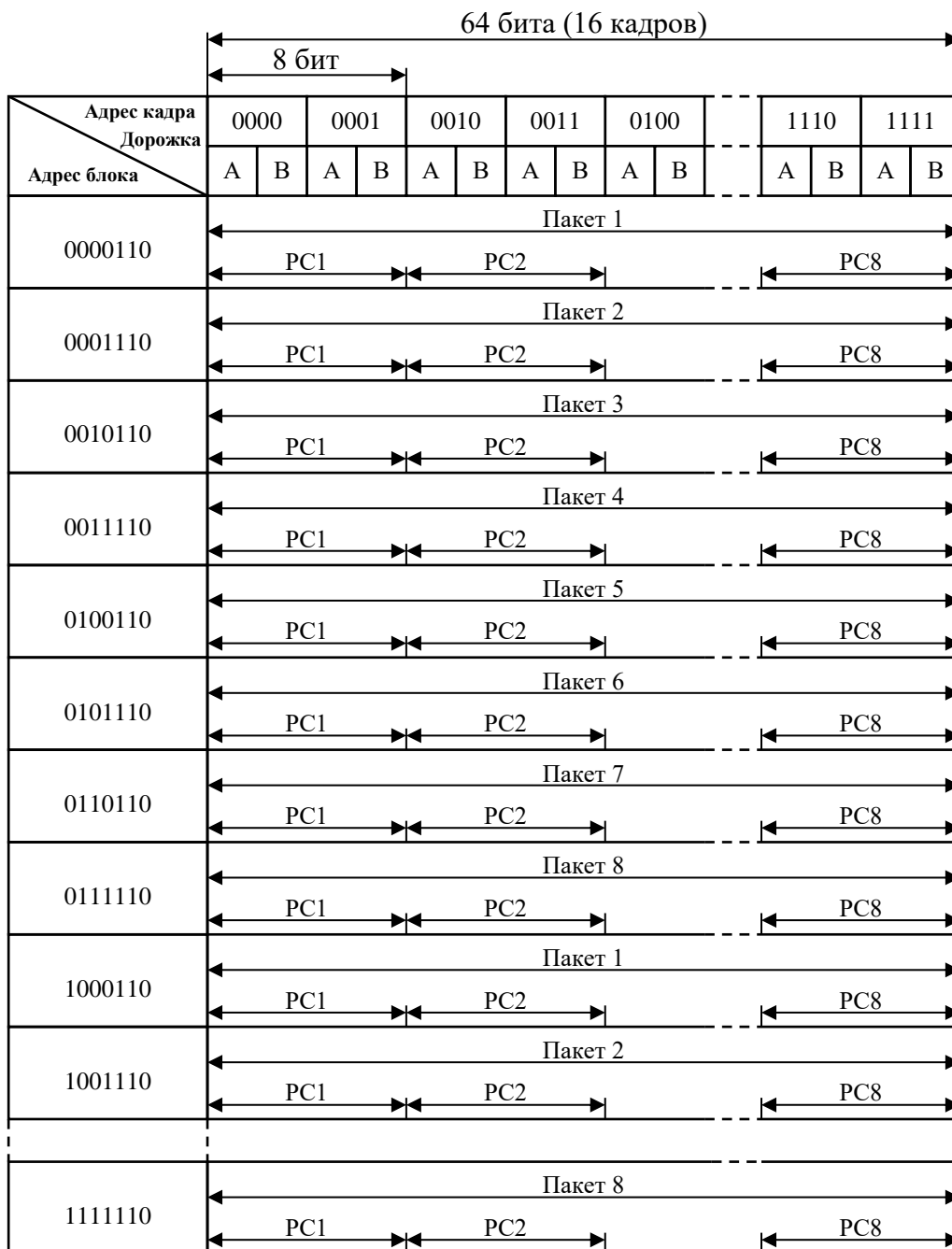


Рис. 2.22. Формирование блоков данных пакета

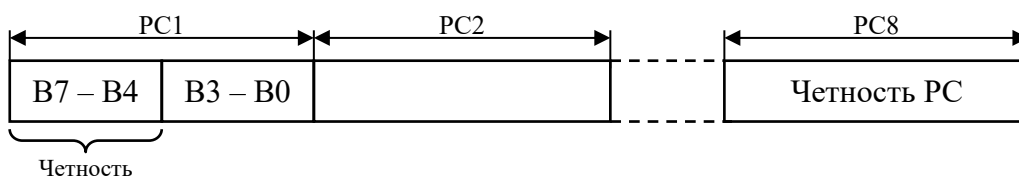


Рис. 2.23. Структура блока данных пакета

Обозначение символа	W1								W2							
	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
SC1	ФЗ	Номер программы							0	X	X	X	0	0	0	1
SC2	Номер индекса			ФН	Часы 1				0	X	X	X	0	0	1	1
SC3	Часы 2		Минуты 1						0	X	X	X	0	1	0	1
SC4	Минуты 2		Секунды						0	X	X	X	0	1	1	1
AC1	Указатель вспомогательного кода			Данные вспомогательного кода					0	X	X	X	1	0	0	1
AC2									0	X	X	X	1	0	1	1
AC3									0	X	X	X	1	1	0	1
AC4									0	X	X	X	1	1	1	1

Рис. 2.24. Содержание символов W1 и W2 для нечетных блоков ИКМ-зоны

Состояние флага начала «1» указывает на начало программы и должно оставаться «единицей» в течение 300 ± 30 кадров.

Первая позиция, где флаг начала становится «единицей», должна соответствовать изменению номера программы и номера индекса.

Символ SC3 содержит младшие разряды кода абсолютного времени «часы 2» (B6, B7) и старшие разряды кода абсолютного времени «минуты 1» (B0, B5). Абсолютное время выражается в часах, минутах и секундах в двоичном коде. Код «часы 1» изменяется в диапазоне «000000» - «111111». В начальной точке первой программы абсолютное время сбрасывается в «0» и увеличивается по мере прохождения программы.

В области оглавления время уменьшается и становится равным «0» к концу оглавления. Указатель вспомогательного кода AC1-AC4 содержится в разрядах B4-B7 символа AC1. Остальные разряды этого символа и символы AC2-AC4 содержат непосредственно вспомогательные данные. Связь значения указателя с содержанием вспомогательных данных показана в табл. 2.6.

Способ кодирования вспомогательных данных изложен в стандарте на формат R-DAT.

Так же, как и проигрыватели компакт-дисков, DAT-магнитофоны обладают широким спектром сервисных возможностей, которые обеспечиваются благодаря наличию записанной на ленте служебной информации.

Таблица 2.6

Связь значения указателя с содержанием вспомогательных данных

Указатель АС	Режим	Содержание
0000	Информации нет	АС1-АС4 – «нули»
0001	Абсолютное время	Код непрерывного времени на ленте
0010	Программное время	Код времени внутри программы
0011	Время индекса	Код времени фрагмента программы, обозначенного данным индексом
0100	Номера программы, индекса и флага	Номера программы, индекса и флага
0101	Резерв	
0110	Дата 1	Число, месяц, год, день недели
0111	Дата 2	
1000	ТОС 1	Оглавление
1001	ТОС 2	
1010	Номер по каталогу 1	Номер кассеты по каталогу
1011	Номер по каталогу 2	
1100	ISRC 1	Код записи по международному стандарту
1101	ISRC 2	
1110	ISRC 3	
1111	Резерв	

Присутствие оглавления позволяет быстро находить нужный фрагмент записи и воспроизводить записанный материал по заданной пользователем программе. Правда, скорость поиска здесь не так высока, как в CD-проигрывателях. Если оптический звукозаписывающий аппарат может перемещаться по радиусу диска и практически мгновенно находить нужное место, то ленту надо перематывать, а это требует времени. Скорость перемотки в режиме поиска, как правило, в 200 раз превышает скорость движения ленты в режиме воспроизведения. Тем не менее между отдельными фрагментами может возникнуть пауза до нескольких секунд.

Однако если буферная память магнитофона имеет достаточно большой объем (порядка нескольких мегабайт), то паузы может и не быть. Процесс поиска в этом случае завершается раньше, чем буферная память успеет опорожниться. Поэтому на слух такой переход будет выражаться в некоторой задержке момента перехода к новому фрагменту относительно момента поступления команды на поиск (нажатия соответствующей кнопки). А в режиме воспроизведения по программе и вовсе замечен не будет.

На дисплей магнитофона может быть выведена информация о текущем времени на ленте и о времени звучания каждого музыкального фрагмента.

Сервисные возможности магнитофона в режиме записи и редактирования обеспечиваются благодаря наличию обширных зон субкода. Сюда записываются информация о предварительной разметке фрагментов (начало, конец, продолжительность, текущий хронометраж) и их временные номера. После того, как программа окончательно сформирована и отредактирована, она может быть переписана начисто. При этом служебные данные из зон субкода переносятся в ИКМ-зону и в дальнейшем изменены быть не могут.

2.7. DAT-кассета

Носителем информации в формате R-DAT является специальная магнитная лента шириной 3,81 мм, помещенная в кассету с габаритами 73×54×10,5 мм. Ее размеры в сравнении с размерами некоторых других типов существующих кассет показаны на рис. 2.25.

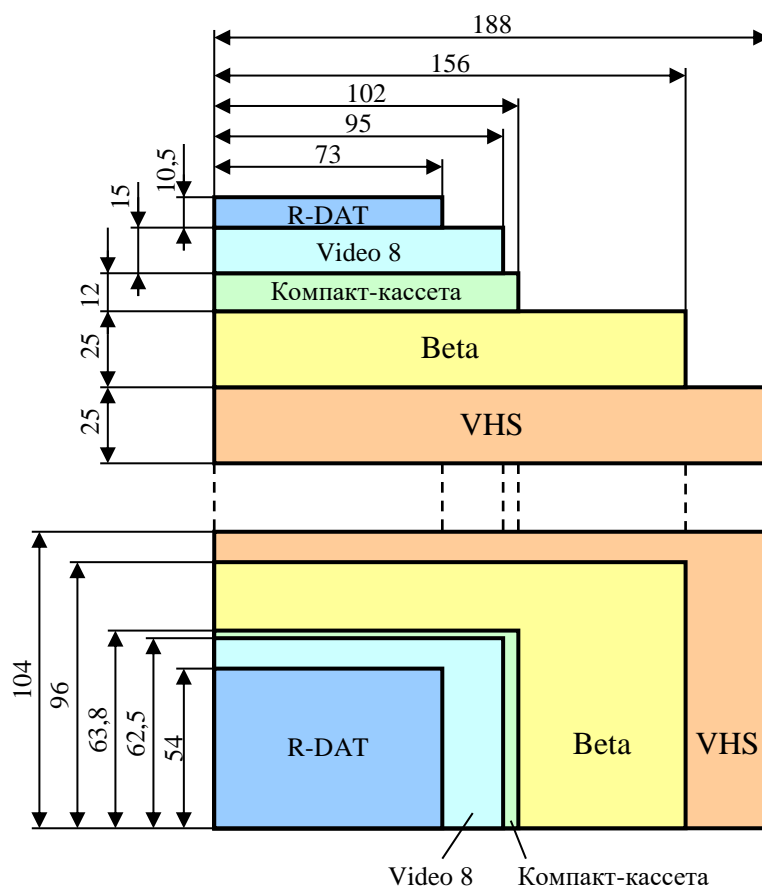


Рис. 2.25. Сравнительные размеры DAT-кассеты и некоторых других кассет

2.7.1. Конструкция DAT-кассеты

По внешнему виду DAT-кассета похожа не на привычную любителям музыки звуковую компакт-кассету, а больше напоминает миниатюрную видеокассету (рис. 2.26). Так же, как у видеокассеты, рабочая поверхность ленты защищена шарнирной крышкой и доступ к ней обеспечивается только при откидывании этой крышки. Кроме того, отверстия втулок, на которые намотана лента, и прорезь, обеспечивающая размещение стоек ЛПМ, заправляющих ленту вокруг барабана, в нерабочем состоянии закрыты скользящей панелью. Эта панель к тому же застопоривает шарнирную крышку, препятствуя доступу к магнитному слою ленты. Когда кассета находится вне ЛПМ магнитофона, то скользящая панель фиксируется с помощью двух защелок, расположенных в нижней части корпуса кассеты.

Как и в компакт-кассете, втулки, на которые намотана лента, не имеют фланцев и край рулона ограничен только размерами корпуса. Это позволяет разместить центры втулок на минимально возможном расстоянии друг от друга. Вне транспортного механизма магнитофона втулки блокируются с помощью специального рычажка, связанного с шарнирной крышкой.

Таким образом, DAT-кассета хорошо закрыта со всех сторон, и магнитный слой ленты, находящейся внутри нее, надежно защищен от пыли, царапин, отпечатков пальцев и других внешних воздействий.

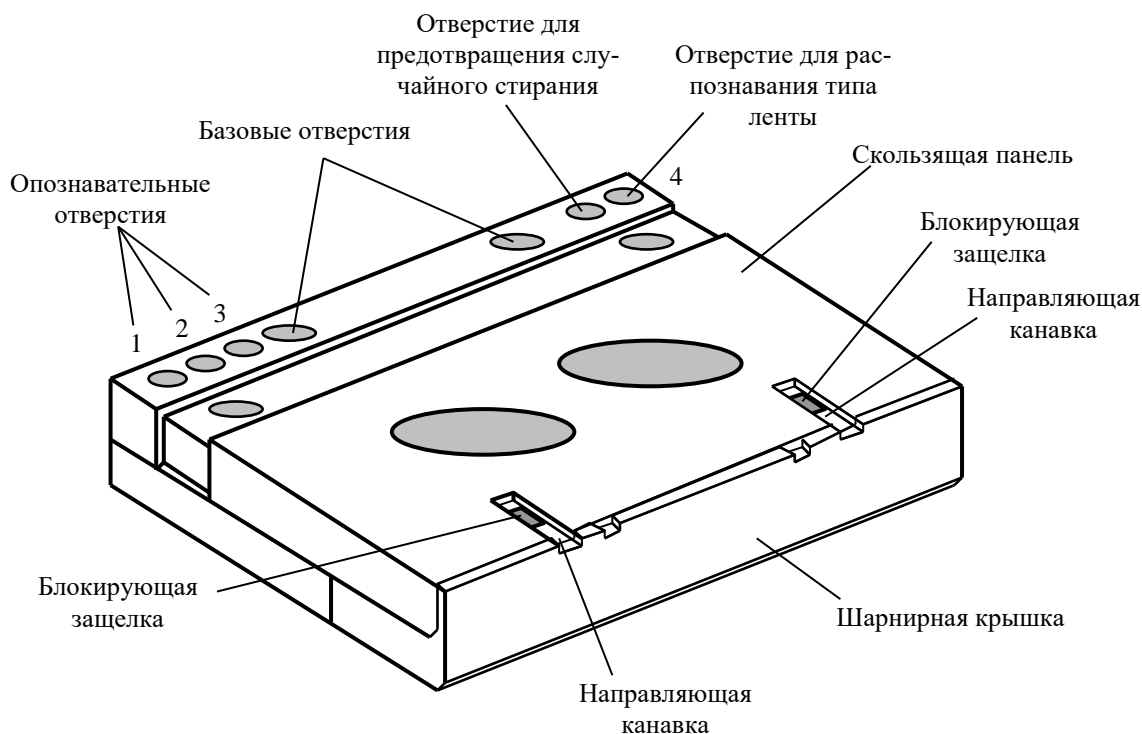


Рис. 2.26. Внешний вид DAT-кассеты

Когда кассета устанавливается в кассетоприемник магнитофона, то при ее втягивании выступы на нижней поверхности кассетоприемника входят в канавки скользящей панели и отпирают блокирующие ее защелки. Панель при этом сдвигается назад, открывая пространство для ввода направляющих штырей ЛПМ и освобождая шарнирную крышку. Отверстия в панели совмещаются с отверстиями в корпусе кассеты, открывая доступ к втулкам. В дальнейшем, при опускании кассеты внутрь транспортного механизма, специальный рычаг ЛПМ поднимает шарнирную крышку, открывая доступ к рабочей поверхности ленты. Одновременно с этим валы подкатушечных узлов входят во втулки кассеты.

Для того, чтобы магнитофон мог автоматически определять характеристики ленты и вид записи (нормальная дорожка или широкая дорожка), на корпусе кассеты в строго определенных местах имеются специальные опознавательные отверстия. Информация кодируется путем открывания или закрывания этих отверстий.

Три из них (1, 2, 3 – на рис. 2.26) предназначены для обозначения толщины ленты и ширины дорожки записи (табл. 2.7).

Таблица 2.7

Кодирование типа ленты состоянием опознавательных отверстий

Отверстие 1	Отверстие 2	Отверстие 3	Тип ленты
0	0	0	Металлопорошковая лента или ее эквивалент (толщина 13 мкм)
0	1	0	Металлопорошковая лента или ее эквивалент (тонкая лента)
0	0	1	Широкая дорожка (толщина 13 мкм)
0	1	1	Широкая дорожка (тонкая лента)
1	х	х	Резерв

Примечания: «1» - отверстие закрыто
«0» - отверстие открыто
«х» - безразличное состояние отверстия

Четвертое (4 на рис. 2.26) служит для обозначения типа ленты. Если оно закрыто, то это чистая лента, предназначенная для записи программ самим пользователем. Если оно открыто, то это кассета со студийной записью, изготовленная в условиях производства и предназначенная только для воспроизведения.

Кроме того, имеется одно отверстие, предотвращающее случайное стирание записанной фонограммы. Если оно закрыто, то на кассету можно производить запись, если открыто – то запись невозможна. По сути, это эквивалентно обламыванию специального выступа на

аналоговой компакт-кассете. Но здесь ситуация обратима. Отверстие можно открыть или закрыть с помощью специального плунжера, расположенного в окошке кассеты с тыльной стороны. Цвет плунжера отличается от цвета корпуса кассеты, и это позволяет на глаз определить – закрыто окошко или открыто, а значит – возможна запись или нет.

Конец ленты можно определить по прозрачным ракордам с помощью оптических датчиков. Для этого в кассете имеются две миниатюрные призмы, которые могут работать как на просвет, так и на отражение. Поэтому в конструировании датчика конца ленты существует определенная свобода. Восприятие излучаемого света может осуществляться через угол кассеты. Кроме того, можно использовать отраженный свет, т.к. в кассету встроена призма, которая направляет свет в обратную от ленты сторону. Призма представляет собой часть прозрачной вставки, используемой как окно кассеты.

DAT-кассета является изделием с весьма жесткими допусками на размеры деталей. Для габаритных размеров такие допуски составляют $\pm 0,3$ мм, а для определяющих деталей они еще жестче – до 0,05 мм. Чтобы выдержать такие точности, требуется применение особых типов пластмасс с малой усадкой.

2.7.2. Магнитная лента DAT

По своим рабочим характеристикам DAT-лента близка к ленте, используемой в форматах видеозаписи Video-8 и Hi-8. Как правило, это металлопорошковая лента на полиэфирной основе, обладающая коэрцитивной силой $H_c = 1400 \dots 1500$ Э и остаточной магнитной индукцией $B_r = 2200 \dots 2500$ Гс [28-34].

DAT-лента имеет трехслойную структуру (рис. 2.27). Толщина регистрирующего магнитного слоя – около 3 мкм. Основу его составляет магнитный порошок с иглообразными частицами длиной 0,15...0,3 мкм. Кроме него, в состав магнитного слоя включают различные добавки, улучшающие эксплуатационные характеристики ленты – диспергирующие агенты, смазку, вещества, упрочняющие покрытие, антистатики и пр.

Производство металлического порошка для магнитного слоя ленты требует довольно сложной технологии. Частицы оксида ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) или гидроксида ($\alpha\text{-FeOOH}$) железа, имеющие иглообразную форму, нагревают в потоке водорода до температуры 400-500°C. Железо при этом восстанавливается. Для того, чтобы в процессе восстановления не происходило спекания частиц и не нарушалась их иглообразная фор-

ма, поверхность частиц покрывают тонким слоем двуокиси кремния SiO_2 или окиси алюминия Al_2O_3 толщиной в несколько десятков ангстрем.

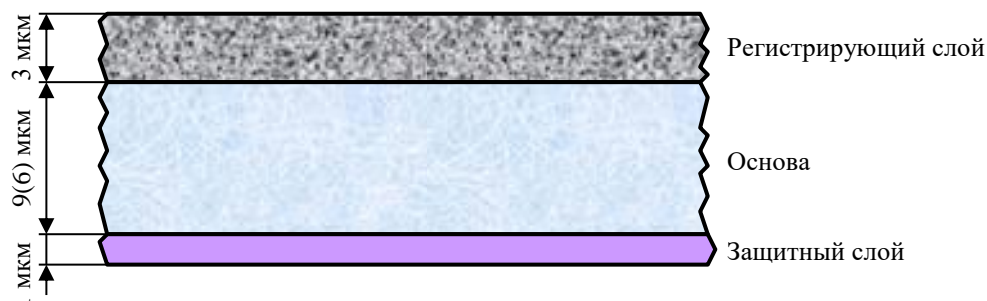


Рис. 2.27. Структура DAT-ленты

Очень важным моментом является технология обработки порошка для придания ему антикоррозийных свойств. Обычный металлический порошок обладает одним недостатком: чем меньше размер его частиц, тем больше они подвержены коррозии. Это приводит к уменьшению со временем уровня выходного сигнала, считываемого с магнитной ленты.

Для защиты от коррозии металлический порошок помещают в толуол и, продувая через него воздух, перемешивают. При этом на поверхности металлических частиц образуется пленка из магнетита, защищающая их от окисления.

Кроме электромагнитных характеристик, регистрирующий слой должен обладать и целым рядом других свойств, обеспечивающих высокие эксплуатационные характеристики ленты. Это хорошая дисперсность металлического порошка в покрытии (равномерность распределения), ориентируемость частиц, малая абразивность, хорошая **адгезия** (сцепляемость) к основе. Эти свойства обеспечиваются применением специального термоотверждаемого связующего вещества. Такое вещество обычно состоит из трех компонент – основного, вспомогательного и отвердителя.

В качестве основного связующего вещества используют макромолекулы полимера с молекулярной массой до нескольких десятков тысяч единиц, обладающие хорошей дисперсностью, в молекулярную цепь которых включаются так называемые якорные сегменты, которые хорошо адсорбируются на поверхности частиц магнитного порошка.

В результате, взаимодействие между магнитными частицами усиливается, и покрытие становится чрезвычайно прочным.

С другой стороны, для того чтобы получить высокую износостойчивость, используют молекулы полиуретана, в структуру которых введены одновременно и твердые, и мягкие компоненты. Покрытие с высокой износостойчивостью формируется за счет особой структуры связующего вещества, сочетающего в себе такие противоположные свойства, как твердость и мягкость [35-36].

В качестве средства для укрепления покрытия ленты, а также для очистки головок используются специальные абразивные вещества. Если во время протяжки ленты к поверхности головок или к их зазорам прилипают частицы магнитного слоя, то выходной сигнал головок уменьшается. Чтобы предотвратить такое явление, на поверхности ленты размещают твердые частицы, имеющие размеры большие, чем размеры частиц металлического порошка – 0,3...1,0 мкм. В качестве абразивных веществ используются окись хрома (Cr_2O_3), окись алюминия (Al_2O_3), оксид железа ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) и другие вещества. Количество добавки составляет примерно 5-10% от массы металлического порошка.

Результатом введения такой добавки является повышение износостойчивости магнитного слоя ленты и снижение коэффициента кинематического трения. Однако при этом возникают и отрицательные эффекты, выражающиеся в уменьшении плотности металлического порошка, ухудшении электромагнитных характеристик ленты и увеличении износа головок. Поэтому очень важно правильно выбрать тип вводимого вещества, форму его частиц, количество добавки и другие факторы [15, 37].

Для того чтобы снизить коэффициент трения и уменьшить дрожание ленты из-за прилипания, в состав магнитного слоя включают еще и смазывающие вещества.

В качестве материала для смазки используются высшие жирные кислоты, сложные эфиры, силиконовые и фторовые масла и т.п. В качестве твердой смазки, как правило, применяется газовая сажа.

В зависимости от требований к ленте используются смеси из нескольких видов смазывающих веществ, отличающихся друг от друга своими физическими свойствами [36-38].

Что касается основы ленты, то она, как правило, изготавливается из **полиэтилентерефталата (лавсана)**. В случае 13-микронной ленты ее толщина равняется 9 мкм, в случае 10-микронной – 6 мкм (рис. 2.27).

Для предотвращения накопления электрических зарядов на поверхности ленты с обратной стороны ее покрывают защитным слоем из материала с относительно низким поверхностным сопротивлением. Толщина такого слоя около 1 мкм (рис. 2.27). Кроме того, защитный

слой должен обладать малым коэффициентом трения, чтобы облегчить скольжение ленты в режимах перемотки и высокоскоростного поиска [39].

Следует отметить, что требования к магнитной ленте, используемой для изготовления DAT-кассет с предварительной записью путем высокоскоростного контактного копирования, несколько отличаются от требований, предъявляемых к обычной DAT-ленте, предназначенной для наклонно-строчной записи. Здесь удобнее применять перпендикулярный способ записи. Потребность в такого рода носителях привела в свое время к активизации исследований в этой области. Была разработана лента на основе феррита бария с частицами порошка, ориентированными перпендикулярно поверхности основы [40-43].

2.8. Лентопротяжный механизм

В сравнении с лентопротяжным механизмом (ЛПМ) любого кассетного видеомэгнитофона ЛПМ магнитофона R-DAT относительно несложен. Это обусловлено небольшим углом охвата барабана магнитной лентой – всего 90° . Такой угол охвата позволяет получить скорость перемотки ленты без отвода ее от барабана в 200 раз выше скорости протяжки при воспроизведении. Это в случае применения барабана стандартного диаметра 30 мм. Тем не менее, как говорилось выше, допускается использование барабанов как уменьшенного (15 мм), так и увеличенного (60 мм) диаметров. В первом случае угол охвата увеличится до 180° , а скорость перемотки уменьшится до 50-60-кратной. Во втором случае угол охвата, наоборот, уменьшится до 45° , а скорость перемотки увеличится до 400-кратной.

Конструкция ЛПМ стандартом не оговаривается, поэтому разработчики разных фирм имеют полную свободу в выборе вариантов исполнения его кинематической схемы, диаметра используемого барабана, а также типа и числа двигателей для проектируемого ими лентопротяжного механизма [44, 45].

Схема одного из возможных вариантов построения ЛПМ с использованием стандартного барабана $\varnothing 30$ мм приведена на рис. 2.28.

Когда механизм загрузки втягивает кассету в кассетоприемник, скользящая панель в ее нижней части отодвигается, а шарнирная крышка, прикрывающая ленту, откидывается. При этом все подвижные элементы, участвующие в протяжке ленты (направляющие, прижимной ролик, рычаг датчика натяжения), занимают положения в передней части кассеты, обозначенные на рис. 2.28 пунктиром.

После этого механизм заправки ленты перемещает упомянутые элементы в положения, обозначенные сплошными линиями. Направ-

ления перемещения указаны стрелками. Направляющие стойки при этом захватывают ленту, извлекая ее из кассеты, и заправляют в положение охвата барабана. Однако прижимной ролик и рычаг датчика натяжения вначале немного не доходят до своих рабочих положений. Такое расположение элементов кинематики ЛПМ соответствует состоянию готовности магнитофона – ждущему режиму STOP. Тормоза катушек в этом состоянии отпущены.

Переход из него в режим быстрой перемотки вперед (FF) или назад (REW) осуществляется путем вращения катушек. Прижимной ролик в это время не соприкасается с ведущим валом, и лента свободно скользит между ними.

Переход из режима STOP в режим воспроизведения (PLAY) или записи (REC) происходит, когда прижимной ролик входит в контакт с ведущим валом, обеспечивая перемещение ленты. При этом начинает функционировать и регулятор натяжения, рычаг датчика которого также входит в контакт с лентой. Этому режиму как раз и соответствует положение элементов кинематики, показанное на рис. 2.28.

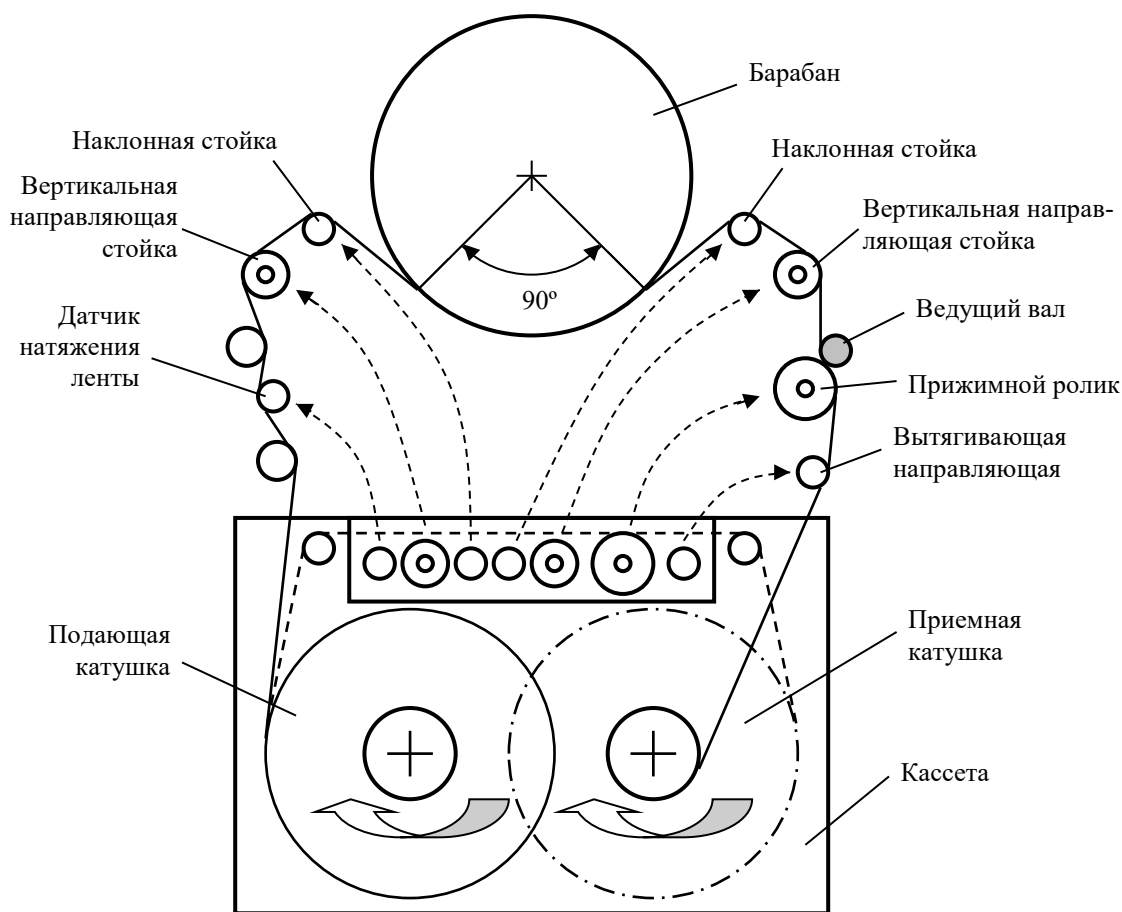


Рис. 2.28. Лентопротяжный механизм магнитофона R-DAT

Выгрузка кассеты происходит в порядке, обратном загрузке. Стойки, прижимной ролик и рычаг датчика натяжения возвращаются в исходное положение внутри кассеты, а петля ленты расправляется вращением одной из катушек.

При осуществлении протяжки ленты большое значение имеет степень ее натяжения. Если натяжение слишком мало, то возникают определенные нерегулярности и сбои в контакте пары лента/головка. А это приводит к искажению формы воспроизводимого сигнала.

При чрезмерном натяжении появляются другие проблемы, в том числе – ускоренный износ как магнитных головок, так и самой ленты [46].

Поэтому сила натяжения ленты должна автоматически поддерживаться на некотором постоянном уровне, обеспечивающем оптимальные условия взаимодействия ленты и головок. Точность поддержания уровня натяжения является одной из основных технических характеристик ЛПМ. Способы достижения этого могут быть самыми разными.

Например, в простых вариантах исполнения ЛПМ с малым количеством двигателей может быть использована механическая сервосистема, основанная на применении ленточного тормоза для подающей катушки. Регулирование осуществляется путем увеличения или уменьшения тормозящего усилия, действующего на эту катушку. Управляющий сигнал для такой сервосистемы вырабатывается исходя из регистрируемого рычагом датчика натяжения состояния баланса между натяжением ленты и упругостью пружины, прикрепленной к рычагу [47].

Вместо механического способа подтормаживания подающей катушки можно использовать электрический. Но он применим только в том случае, когда привод подающей и приемной катушек осуществляется от разных двигателей. При этом тормозящий эффект обеспечивается путем подачи на двигатель подающей катушки соответствующего напряжения. Датчик натяжения здесь также нужен электрический, например, состоящий из магнита и элемента Холла, расположенных в тракте перемещения ленты.

Количество двигателей, используемых в ЛПМ магнитофона R-DAT, может быть от трех до шести и даже больше. В наиболее полном варианте это два двигателя привода катушек кассеты, двигатель ведущего вала, двигатель БВГ, двигатель для заправки ленты и двигатель механизма загрузки кассеты [44].

Минимально возможное число двигателей равно трем, поскольку, по крайней мере, для ведущего вала, БВГ и привода катушек нужно иметь отдельные двигатели. При этом некоторые разработчики умуд-

ряются с помощью одного и того же двигателя осуществлять и загрузку кассеты, и заправку ленты, и привод катушек [47].

Одним из наиболее ответственных узлов лентопротяжного механизма является **блок вращающихся головок (БВГ)**. Состоит он из двух основных частей – нижнего неподвижного барабана, вокруг которого перемещается лента, и верхнего – вращающегося, на котором закреплены магнитные головки. Для обеспечения заданного положения ленты на нижнем барабане на нем имеется направляющий выступ, который фиксирует нижнюю кромку ленты.

Для того чтобы уменьшить трение между барабаном и лентой, его поверхность должна быть абсолютно гладкой (обработка по 14-му классу точности). Особенно это важно при осуществлении режима высокоскоростной протяжки. Чтобы еще более снизить коэффициент трения, во многих моделях БВГ на поверхности вращающегося барабана нарезаются мелкие канавки. При этом, когда барабан вращается, между лентой и его поверхностью образуется тончайшая воздушная прослойка, которая значительно снижает трение [48].

Тем не менее очень важен выбор материала, из которого изготавливается барабан и особенно вращающийся. Он должен обладать высокой коррозионной стойкостью, износостойкостью, малым коэффициентом трения скольжения и высокой технологичностью при обработке. Как правило, для этого используются различные сплавы алюминия. Например, сплав, содержащий 8% кремния [48].

Если магнитофон находится в нерабочем состоянии, то поверхности барабанов при повышенной влажности могут покрыться влагой и лента прилипнет к одной из них. Запуск магнитофона в таких условиях может привести к обрыву ленты, поломке ЛПМ или головок. Поэтому в непосредственной близости от БВГ устанавливается датчик влажности. Если влажность выше допустимой, то включение магнитофона становится невозможным. В автомобильных вариантах исполнения для устойчивой работы БВГ иногда устанавливают специальные подогреватели, обеспечивающие оптимальный микроклимат внутри магнитофона.

Для передачи сигнала с головок к усилителю воспроизведения используется вращающийся трансформатор. Он состоит из пары кольцевых катушек, одна из которых размещается во вращающемся барабане, а другая - в неподвижном. Таким образом, передача считываемого головками сигнала осуществляется бесконтактно.

2.9. Магнитные головки

Для того чтобы обеспечить запись цифрового сигнала на высококоэрцитивную ленту, головки DAT-магнитофона должны обладать рядом особых свойств. Но прежде чем говорить о них, следует хотя бы в общих чертах познакомиться с некоторыми характерными особенностями магнитных материалов, используемых при изготовлении как головок, так и лент.

Магнитные свойства таких материалов обусловлены наличием в их структуре элементарных образований, называемых **доменами**, имеющих одинаковую ориентацию магнитных полей входящих в них атомов. Как правило, такими свойствами обладают некоторые соединения железа, которые получили общее название **ферромагнетики**.

Если на ферромагнетик не воздействует внешнее магнитное поле, то домены имеют хаотичную ориентацию и его суммарное магнитное поле равно нулю. Если же ферромагнетик поместить во внешнее магнитное поле, то домены сориентируются так, что направления их магнитных полей совпадут с направлением внешнего магнитного поля. Возникнет собственное магнитное поле ферромагнетика – **магнитная индукция**. Результирующее поле при этом резко возрастет. Мерой увеличения магнитного поля в ферромагнетике служит величина его **относительной магнитной проницаемости μ** , показывающая, во сколько раз магнитная индукция внутри данного вещества будет больше магнитного поля в вакууме при воздействии одного и того же внешнего магнитного поля. Эта величина может иметь значение до десятков тысяч.

Существует два основных типа магнитных материалов, которые отличаются своим поведением после снятия внешнего магнитного поля – магнитомягкие и магнитотвердые.

Магнитомягкими называют такие материалы, собственное магнитное поле в которых исчезает сразу после снятия внешнего магнитного поля. Из таких материалов изготавливаются сердечники магнитных головок.

Магнитотвердыми называют материалы, способные сохранять состояние намагниченности после снятия внешнего магнитного поля. Из таких материалов изготавливают постоянные магниты. Регистрирующий слой магнитной ленты – это также магнитотвердый материал.

Намагничивание магнитотвердых материалов происходит следующим образом. Этот процесс иллюстрируется рис. 2.29, где по горизонтальной оси отложена напряженность внешнего магнитного поля H , а по вертикальной оси – магнитная индукция B в магнитном материале.

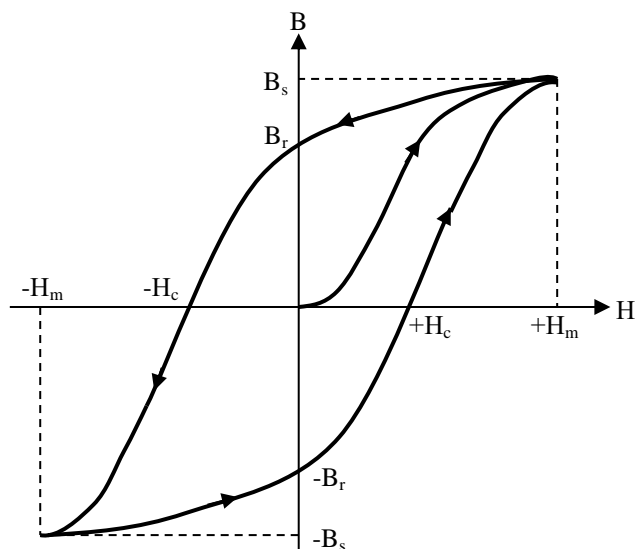


Рис. 2.29. Петля гистерезиса

Если напряженность внешнего магнитного поля H начнет возрастать, то начнет увеличиваться и магнитная индукция B . Вначале это будет медленное нарастание, затем кривая резко пойдет вверх, и, наконец, увеличение индукции замедлится и, в конце концов, прекратится совсем. Такое состояние, когда при увеличении внешнего магнитного поля индукция остается постоянной, называется **состоянием насыщения** магнитного материала. Предельная величина индукции при этом называется **индукцией насыщения B_s** .

Если теперь уменьшать внешнее магнитное поле вплоть до полного его снятия, то магнитная индукция при этом в той или иной степени уменьшится, но не до нуля, так как домены магнитного материала продолжают сохранять ориентацию. Та ее величина, которая сохранится при полном исчезновении внешнего магнитного поля, называется **остаточной индукцией B_r** . Чем она выше у регистрирующего магнитного слоя, тем выше будет уровень воспроизводимого сигнала.

Чтобы убрать магнитную индукцию, нужно приложить к магнитному материалу внешнее поле противоположного направления. Та величина напряженности обратного магнитного поля $-H_c$, при которой индукция B обратится в нуль, называется **коэрцитивной силой** материала. Чем она больше, тем труднее материал поддается размагничиванию. Это свойство очень важно для материала магнитных лент с точки зрения получения высокой плотности записи. Дело в том, что чем меньше размеры участков с противоположной намагниченностью (что и получается при высокоплотной записи), тем в большей степени они влияют друг на друга. А это приводит к потере первоначальной ориентации магнитных доменов, и качество записанной магнитограм-

мы постепенно ухудшается. Поэтому для получения высокоплотной записи на магнитотвердом материале нужно, чтобы его коэрцитивная сила была как можно больше. Тогда состояние намагниченности материала, полученное им при выполнении записи, будет надежно сохраняться даже очень мелкими доменами.

При дальнейшем увеличении обратного магнитного поля (рис. 2.29), материал снова намагнитится – но в противоположном направлении.

Если этот процесс периодически повторять, меняя направление магнитного поля, то получится замкнутая кривая, которая называется **петлей гистерезиса**. Площадь такой петли характеризует энергию, необходимую для перемагничивания материала.

Из вышесказанного следует, что для осуществления записи на высококоэрцитивную магнитную ленту в зазоре головки должно создаваться достаточно сильное магнитное поле. А это возможно, если материал сердечника головки имеет высокую магнитную проницаемость и высокое значение индукции насыщения. Кроме того, он должен обладать и хорошей износоустойчивостью [49, 50].

Самой лучшей износоустойчивостью обладают ферритовые головки. Но их характеристики таковы, что оптимальный режим записи с их помощью можно обеспечить только на ленту, коэрцитивная сила которой не превышает 600-700 Э. DAT-лента же обладает коэрцитивной силой 1400-1500 Э. Оптимальную запись на такую ленту могут обеспечить только головки с сердечниками из **сендаста** (AlSiFe) или **альфенола** (AlFe). Однако эти материалы имеют износоустойчивость значительно более низкую, чем феррит. Кроме того, металлические сердечники имеют повышенные потери на высоких частотах.

Для разрешения такого противоречия была разработана особая технология изготовления магнитных головок, сочетающая в себе достоинства как ферритовых, так и металлических образцов. Эта технология получила название **MIG (Metal-in-Gap** – металл в зазоре) [51-53]. Конструкция головки MIG-типа показана на рис. 2.30.

Сердечник (точнее – два полусердечника) такой головки выполняются из феррита. Но на их грани, образующие рабочий зазор, наносится тонкий (1,5...2,0 мкм) слой сендаста или альфенола. Величина магнитного потока, создаваемого головкой, определяется (точнее – ограничивается сверху) индукцией насыщения материала в области, прилегающей к рабочему зазору. Она должна быть не менее, чем в 7-8 раз превышать значение коэрцитивной силы магнитного материала носителя. Индукция насыщения сендаста – 12000 Гс, альфенола – 18000 Гс, так что условие в этом случае выполняется.

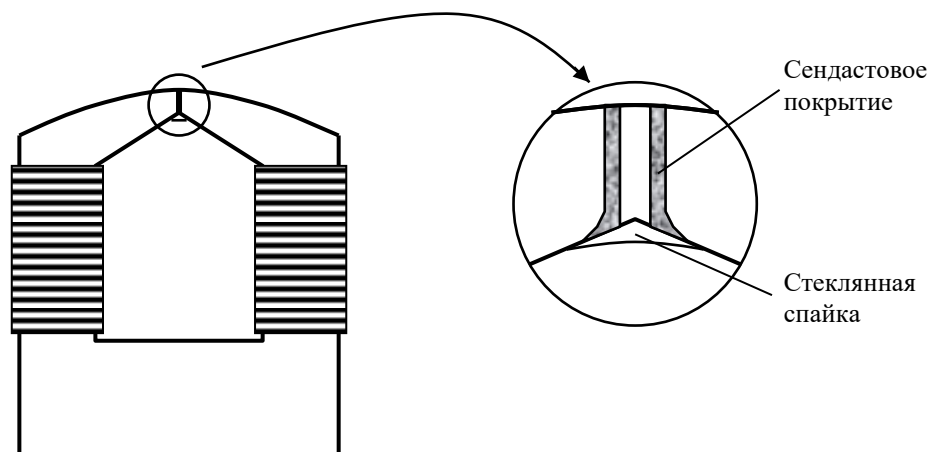


Рис. 2.30. Конструкция головки MIG-типа

Таким образом, ферритовая основа сердечника обеспечивает высокую износоустойчивость головки. Кроме того, феррит обладает великолепными характеристиками в области высоких частот. Металл же в зазоре обеспечивает высокое значение индукции насыщения.

Для придания конструкции жесткости нижняя (по рисунку) часть зазора скрепляется спаем из специального стекла.

Однако головки MIG-типа имеют один недостаток. Границы между ферритом и металлической пленкой при воспроизведении работают как ложные зазоры, искажая считанный сигнал. Причины этого явления следующие.

Во-первых, при изготовлении ферритовой заготовки те поверхности полусердечников, на которые должна наноситься металлическая пленка (как правило – сендаст), предварительно полируются алмазным порошком. При этом образуется слой с поврежденной кристаллической структурой. Поскольку высокое качество феррита определяется спецификой его кристаллической структуры, то наличие поврежденного обработкой слоя приводит к ухудшению магнитных характеристик полученной поверхности. Возникает **ложный зазор**.

Эта неприятность устраняется обработкой концентрированной фосфорной кислотой. При этом нужно очень точно выдержать время обработки, иначе шероховатость поверхности может еще более возрасти, и операция потеряет всякий смысл.

Другой причиной возникновения ложного зазора является то, что при формировании на поверхности феррита сендастовой пленки расположение атомов в ее первичном слое из-за несогласованности с кристаллической решеткой феррита оказывается нарушенным и магнитные свойства этого слоя ухудшаются.

Для устранения такого явления на поверхности монокристалла феррита формируют пленку-подложку из двуокиси кремния SiO_2 . Аморфность первичного слоя сендаста при этом полностью устраняется [51, 54].

Существуют и другие способы устранения ложного зазора.

Головки MIG-типа получают довольно дорогими. Поэтому, если конструкция конкретной модели магнитофона не предусматривает функцию записи (автомобильный или переносной вариант), то в него лучше установить головки, изготовленные целиком из феррита. Для считывания величина индукции насыщения не играет решающей роли, зато магнитофон получится дешевле.

2.10. Система автотрекинга

Назначение системы автотрекинга состоит в том, чтобы обеспечить достаточно точное следование каждой из двух вращающихся головок по своей дорожке на ленте. Поскольку запись/считывание в DAT-магнитофонах осуществляется головками с разными углами наклона зазоров, то каждая головка должна при этом еще и находить «свою» дорожку.

Пределы точности позиционирования головки на дорожке являются логическим следствием того факта, что полюса головок в полтора раза шире дорожек. Другими словами, предельно допустимым является такое смещение центра головки относительно центра дорожки, при котором головка все еще полностью перекрывает считываемую дорожку (рис. 2.31).

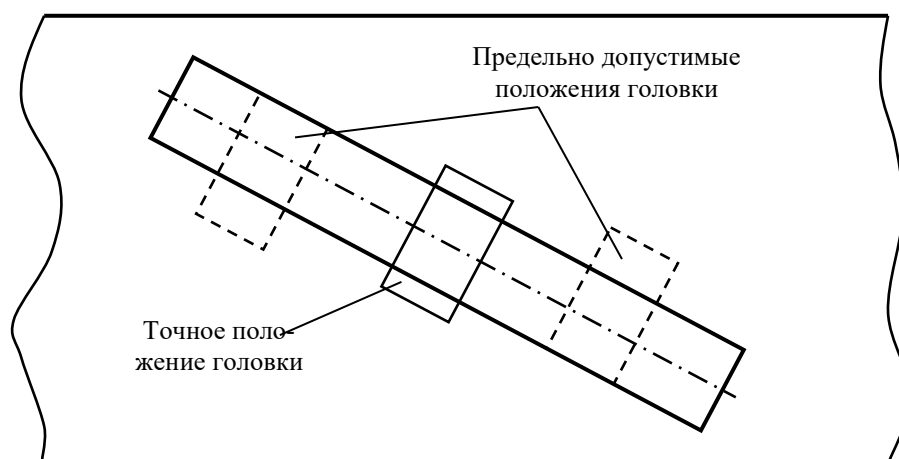


Рис. 2.31. Возможные положения головки на считываемой дорожке

Исполнительным органом системы автотрекинга является ведущий вал. Увеличивая или уменьшая скорость перемещения ленты, можно регулировать положение головки на дорожке. Кроме того, система автотрекинга должна обеспечивать примерное совпадение центров головки и дорожки в момент подхода головки к ленте. Причем, функционирование системы автотрекинга при воспроизведении не должно зависеть ни от ширины дорожки (13,591 мкм или 20,41 мкм), ни от того, на каком магнитофоне сделана воспроизводимая запись.

Информация о положении головки на своей дорожке извлекается из уровней сигналов АТФ, считываемых с соседних дорожек. Такие сигналы, называемые **пилот-сигналами** (F_1), записываются на каждую из них по обеим сторонам ИКМ-зоны. Частота пилот-сигнала достаточно низкая ($F_1 = 130,67$ кГц), поэтому наклон зазора головки почти не влияет на уровень его воспроизведения, и он хорошо считывается головкой как со своей дорожки, так и с соседних. Расположение зон АТФ, где записан пилот-сигнал, выбрано таким образом, чтобы с учетом некоторого смещения дорожек относительно друг друга из-за их наклона пилот-сигналы с разных дорожек считывались поочередно (рис. 2.32 и рис. 2.33) [11, 55].

Когда головка проходит вдоль зон АТФ, то уровни пилот-сигналов, считанных с соседних дорожек, запоминаются и сравниваются (рис. 2.32). Если головка проходит точно по центру своей дорожки, то уровни пилот-сигналов с соседних дорожек будут одинаковыми (рис. 2.33,а). Если головка сместится в какую-либо сторону от центра, то баланс уровней пилот-сигналов от разных дорожек нарушится. Их разница и будет характеризовать величину и знак смещения головки. Полученный таким образом сигнал ошибки $U_{ош}$ (рис. 2.32 и рис. 2.33,б) подается на схему управления двигателем ведущего вала, которая, ускоряя или замедляя его вращение, компенсирует ошибку [55, 56].

Кроме пилот-сигнала F_1 , в зоне АТФ записаны еще и синхросигналы каждой из головок – F_2 (головка А) и F_3 (головка В), которые нужны для опознания головкой «своей» дорожки, и сигнал стирания F_4 , который отделяет синхросигналы F_2 и F_3 от пилот-сигнала F_1 . Все эти сигналы являются производными от канальной тактовой частоты $F_T = 9,408$ МГц, т.е. получаются путем деления F_T на целое число.

$$F_1 = F_T/72 = 130,67 \text{ кГц};$$

$$F_2 = F_T/18 = 522,67 \text{ кГц};$$

$$F_3 = F_T/12 = 784,0 \text{ кГц};$$

$$F_4 = F_T/6 = 1,568 \text{ МГц}.$$

Расположение сигналов $F_1 - F_4$ зон АТФ на дорожках представлено на рис. 2.34. Согласно рисунку длительности каждого из сигнала-

лов и их размещение внутри зон отличаются в пределах каждой четырех последовательных дорожек (двух кадров). Это нужно для того, чтобы можно было отличить дорожку А от дорожки В и четный кадр от нечетного кадра.

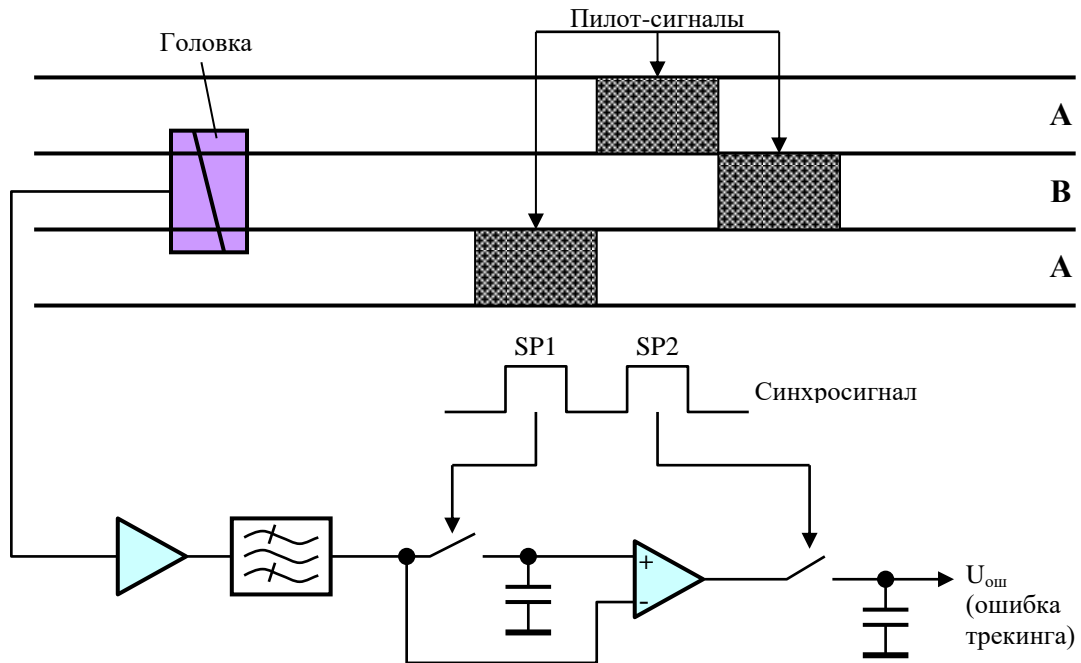


Рис. 2.32. Формирование сигнала ошибки автотрекинга

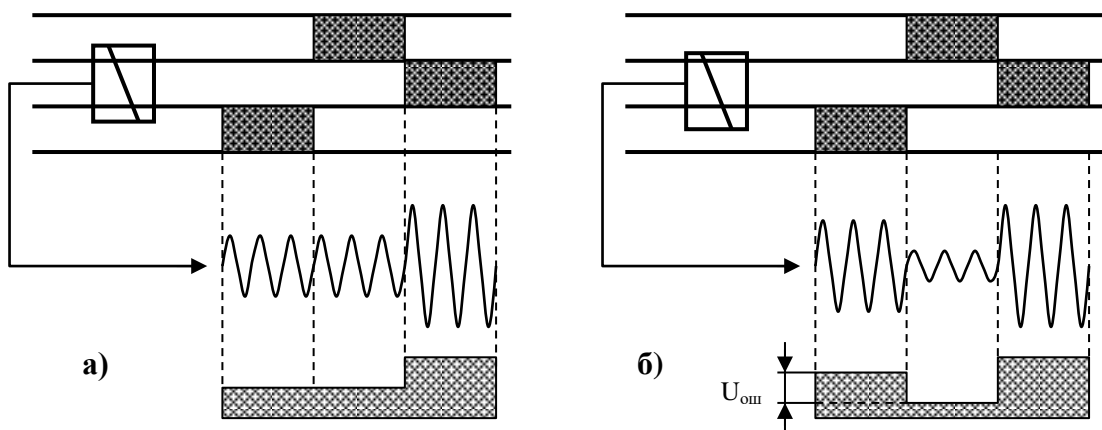


Рис. 2.33. Уровни сигналов ошибки при точном (а) и неточном (б) следовании головки по дорожке

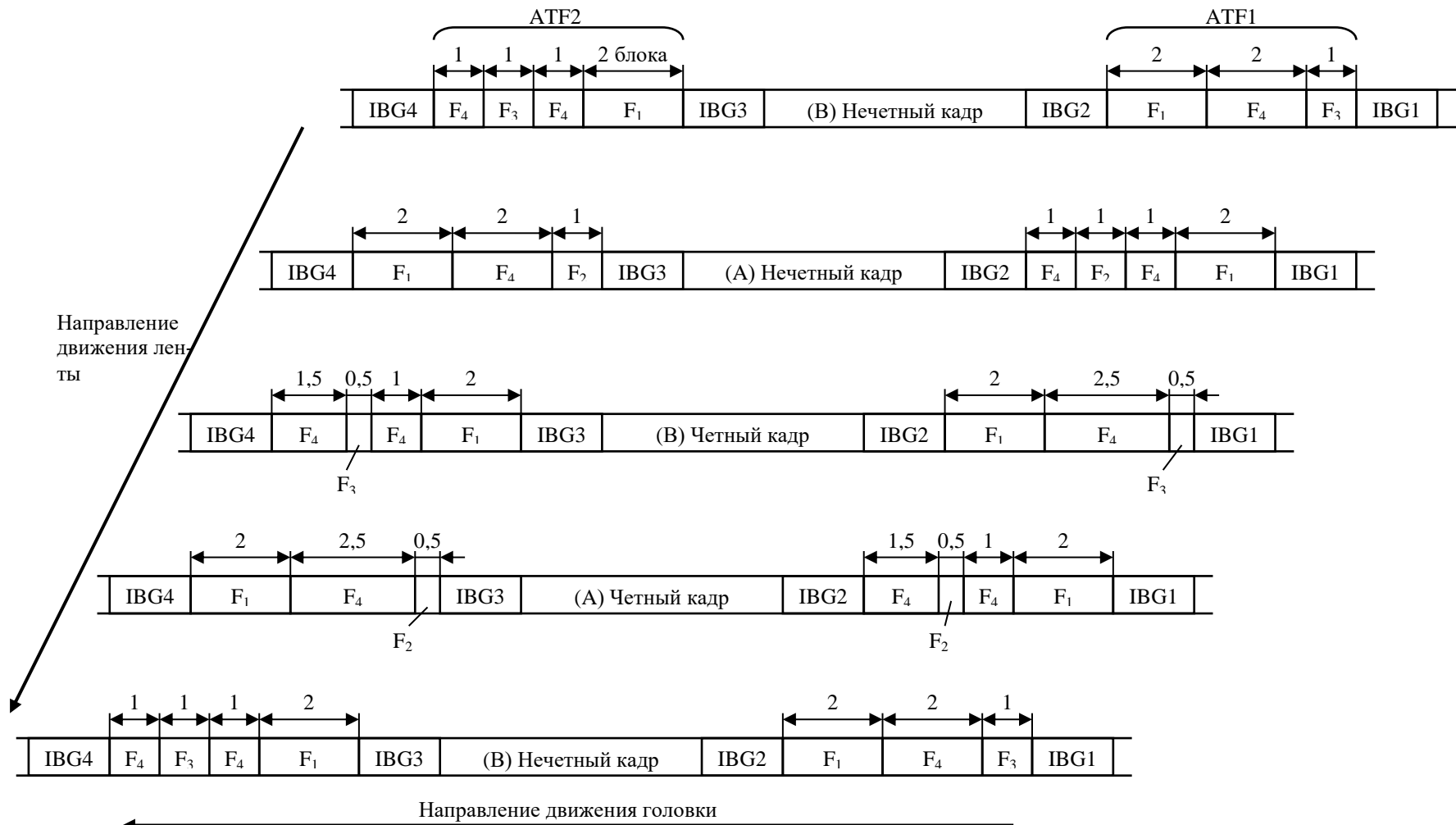


Рис. 2.34. Расположение сигналов зон ATF

Для согласования положения вращающихся головок и перемещения ленты используется специальный датчик, сигнал с которого несет информацию о том, какая из головок А или В приближается к ленте. При этом соответствующая головка подключается к усилителю воспроизведения, а схема управления устройствами выборки и хранения – к соответствующему детектору синхросигнала (F_2 или F_3). При детектировании синхросигнала схема управления вырабатывает сначала сигнал регистрации уровня пилот-сигнала с одной смежной дорожки (SP1), а затем с определенной задержкой - сигнал регистрации уровня пилот-сигнала с другой смежной дорожки и одновременного сравнения этих уровней (SP2). Полученный разностный сигнал и используется для управления системой автотрекинга.

Полная блок-схема управления двигателем ведущего вала показана на рис. 2.35, который является более подробным воплощением схемы на рис. 2.32.

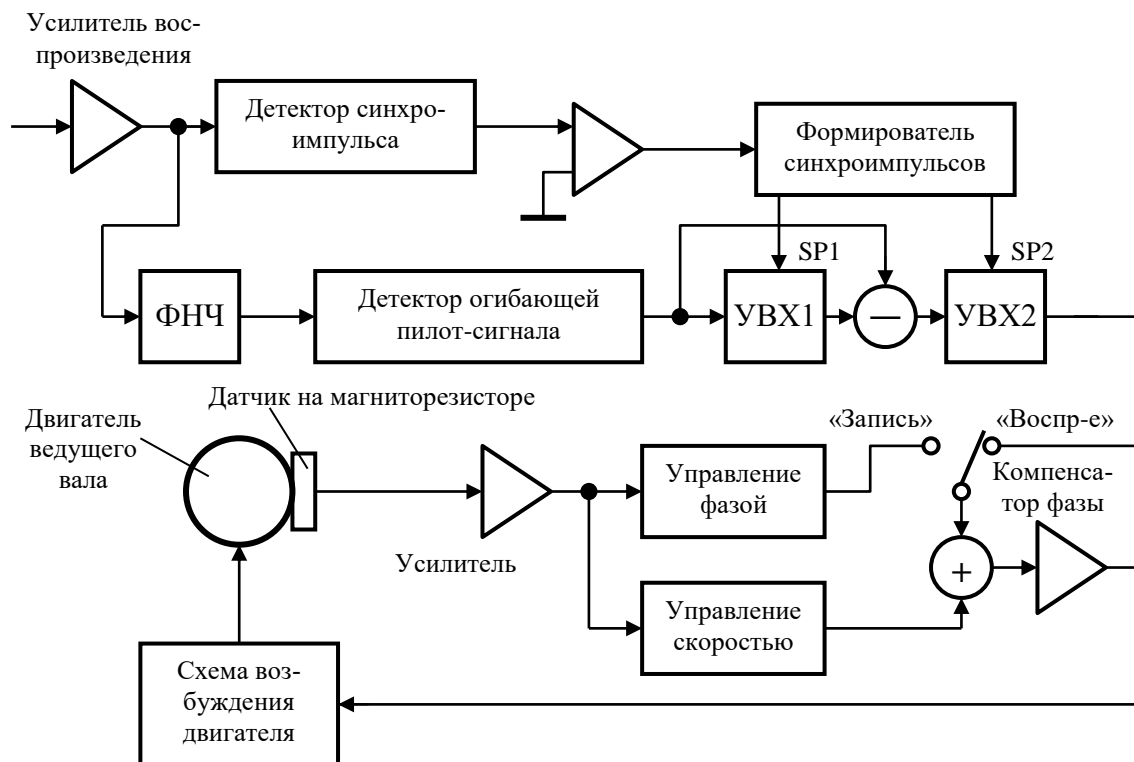


Рис. 2.35. Блок-схема управления двигателем вращения ведущего вала

В режиме воспроизведения ФНЧ выделяет составляющие пилот-сигнала F_1 – как своей дорожки, так и соседних. Детектор синхросигнала выделяет при этом синхросигнал воспроизводимой дорожки, который преобразуется в двухуровневый цифровой с помощью компа-

ратора, и поступает на формирователь синхроимпульсов SP1 и SP2. Формирователь синхроимпульсов в момент появления синхросигнала вырабатывает сначала импульс SP1, который заставляет устройство выборки и хранения УВХ1 запомнить уровень огибающей пилот-сигнала одной из соседних дорожек. Затем в момент времени, соответствующий середине промежутка, когда на выходе детектора огибающей будет уровень пилот-сигнала второй соседней дорожки, формирователь синхроимпульсов вырабатывает второй импульс – SP2. При этом происходит фиксация схемой УВХ2 разности уровней огибающих от первой смежной дорожки, хранящегося в УВХ1, и от второй смежной дорожки, присутствующего на выходе детектора огибающей. Величина этой разности и будет характеризовать ошибку трекинга. Эта ошибка через компенсатор фазы будет воздействовать на схему возбуждения двигателя ведущего вала [44].

Здесь следует обратить внимание на то, что для получения наиболее достоверной информации об уровнях огибающей пилот-сигналов с соседних дорожек расположение синхросигнала в зоне ATF и построение формирователя синхроимпульсов таково, что импульсы SP1 и SP2 вырабатываются примерно в середине соответствующего анализируемого интервала (рис. 2.36).

В режиме записи схема автотрекинга отключается, а скорость и фаза вращения двигателя ведущего вала регулируются на основании сигнала, формируемого специальным датчиком на магниторезисторе [44].

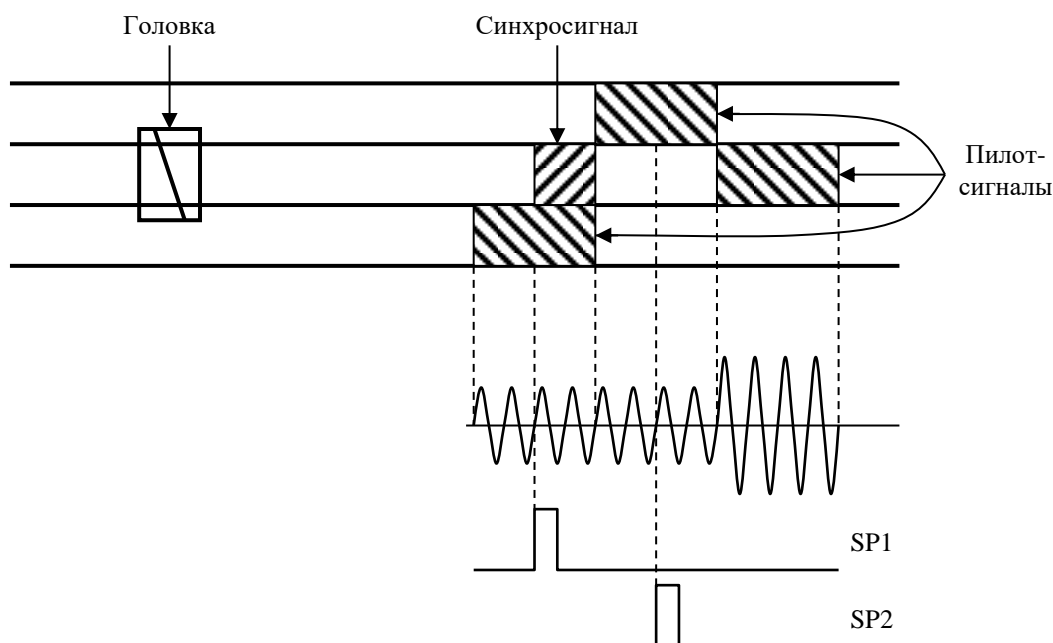


Рис. 2.36. Временные соотношения между синхроимпульсами SP1 и SP2 и пилот-сигналами

2.11. Особенности воспроизведения высокоплотной цифровой магнитной записи

В режиме воспроизведения магнитные головки цифрового магнитофона реагируют не на уровень намагниченности рабочего слоя, а на его изменения. Магнитограмма цифрового сигнала представляет собой последовательность зон с противоположной намагниченностью, соответствующих «нулям» и «единицам» записанной информации. При движении головки вдоль такой магнитограммы электрический сигнал на ее выходе должен иметь вид последовательности остроконечных импульсов, пики которых соответствуют границам зон намагниченности. Причем, в зависимости от направления изменения ориентации магнитных силовых линий такие импульсы будут иметь ту или иную полярность (рис. 2.37,а,б). Исходный двоичный сигнал в этом случае легко восстанавливается путем формирования соответствующих перепадов логического уровня в местах, где расположены считанные импульсы (рис. 2.37,г).

Однако такая картина имела бы место, если бы полоса частот тракта воспроизведения была бесконечно широкой, а ширина зазора головки – бесконечно малой. Поскольку и то и другое конечно, воспроизводимые импульсы имеют округлые вершины и пологие склоны (рис. 2.37,в). Тем не менее уверенное восстановление исходного сигнала возможно и в таких условиях, если изменения намагниченности следуют достаточно редко.

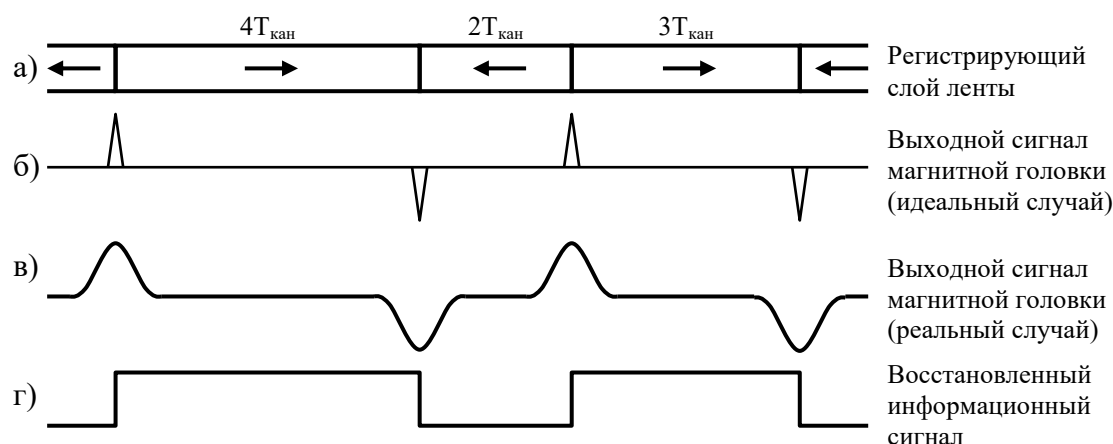


Рис. 2.37. Воспроизведение цифровой магнитограммы

Но если границы зон намагниченности следуют с минимальным интервалом, соответствующим $T_{кан}$, то импульсы от границ соседних участков могут накладываться друг на друга. В результате, вершины импульсов будут сдвигаться относительно своих истинных положе-

ний, вызывая временную ошибку (один из видов «джиттера») (рис. 2.38).

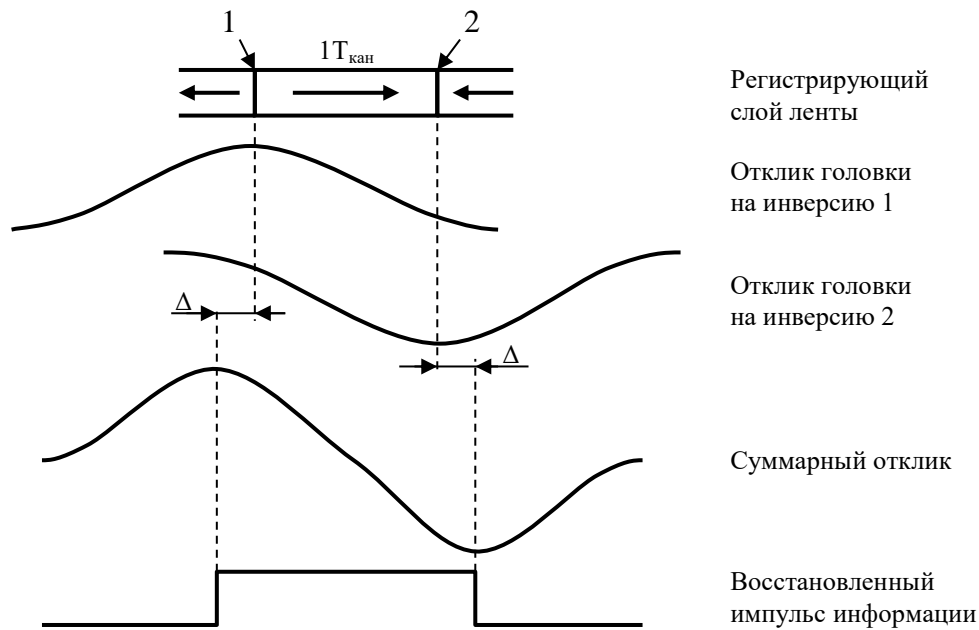


Рис. 2.38. Интерференция считанного сигнала при высокоплотной магнитной записи цифровой информации

Для того чтобы уменьшить влияние такой интерференции, воспроизведенные импульсы стараются сжать во времени, применяя специальные корректоры. Схема одного из вариантов исполнения такого корректора показана на рис. 2.39, а временные диаграммы, поясняющие его работу – на рис. 2.40.

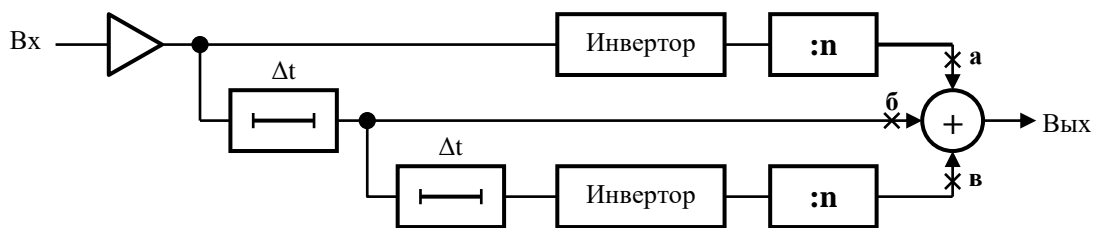


Рис. 2.39. Схема корректора воспроизведенных импульсов

Две линии задержки на величину Δt создают необходимый сдвиг входного импульса. Средний по времени импульс при этом принимается за основной, а два других – за вспомогательные. Вспомогательные импульсы (опережающий и запаздывающий) инвертируются и ослабляются в n раз ($n \sim 2$). Если полученные сигналы сложить, то результирующий импульс будет гораздо уже исходного. Перекрытие, а значит и временную ошибку, при этом можно почти полностью устранить.

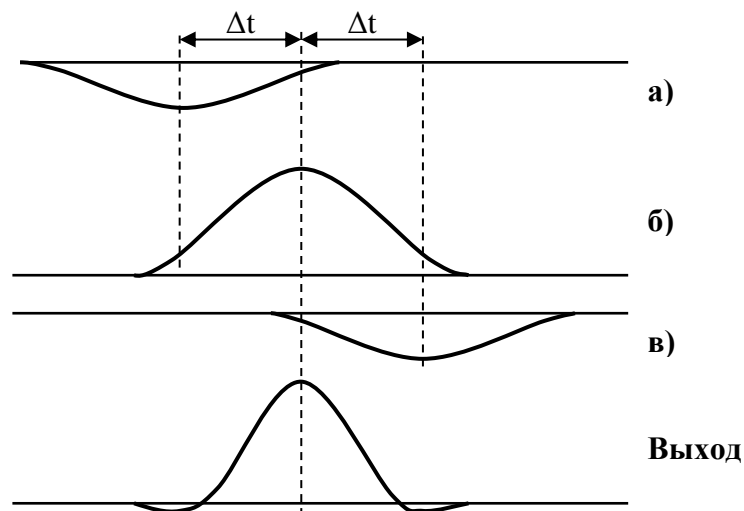


Рис. 2.40. Временные диаграммы работы корректора воспроизведенных импульсов

Способ временной коррекции может быть и каким-либо другим [57]. Так же, как и в оптической записи, в магнитофонах R-DAT необходимо выделить тактовую частоту $F_T = 9,408$ МГц. Схемы для этого могут использоваться те же, что описаны в главе 3.8 [58].

Однако здесь есть некоторые отличия. При воспроизведении компакт-диска считываемый сигнал существует непрерывно, без пауз. А при воспроизведении записи магнитофоном с двумя вращающимися головками половину общего времени сигнал отсутствует и система тактовой синхронизации (ФАПЧ) выходит из состояния синхронизма. Для того, чтобы снова войти в него, ей требуется время. Система ФАПЧ – устройство инерционное, т.к. перепады в реальном информационном сигнале следуют нерегулярно – не в каждом тактовом интервале. Да и сигнал из-за выпадений может на какое-то время пропадать. Однако состояние синхронизма при этом должно сохраняться.

Поэтому и процесс вхождения в синхронизм требует некоторого времени. И чем более инерционна петля ФАПЧ, тем это время больше. Необходимые условия для вхождения в синхронизм обеспечиваются за счет того, что перед началом каждого очередного массива данных на дорожке (зона ИКМ-данных или зона данных субкода) размещаются вспомогательные последовательности, содержащие большое число переходов (IBG, вводный и выводной сигналы). Таким образом, к началу информационной зоны ФАПЧ успевает войти в синхронизм, несмотря на перерывы в процессе воспроизведения.

Кроме того, необходимо выделять и маркеры блочной синхронизации, аналогичные маркерам кадровой синхронизации в системе CD. Устройства, реализующие их, в обоих форматах аналогичны (см. гл. 3.9) [58].

2.12. Цифровое копирование фонограмм с помощью магнитофона R-DAT

Непременным свойством любого магнитофона является его способность к записи. DAT-магнитофон в этом смысле не исключение. Более того, здесь записываемый сигнал может быть как в аналоговой, так и в цифровой форме. Если сигнал аналоговый, то его преобразование в цифровую форму осуществляется с помощью внутреннего АЦП. Источник программ при этом может быть любым – как сугубо аналоговым, так и цифровым.

Однако перезапись цифровых программ в аналоговой форме сопряжена с некоторой потерей качества звучания. Сигнал при этом приходится дважды преобразовывать – сначала из цифровой формы в аналоговую, а затем наоборот – из аналоговой снова в цифровую. Потеря качества здесь, в общем-то, незначительная. По оценкам специалистов, основанным на результатах измерений, при такой перезаписи лишь пятая копия соответствует первой копии при перезаписи с одного аналогового магнитофона на другой аналоговый магнитофон. Однако на слух фонограммы, полученные аналоговым копированием с помощью цифровых аппаратов, воспринимаются хуже, чем фонограммы, полученные с помощью аналоговых аппаратов. Это объясняется увеличением уровня шумов квантования, которые приводят к искажениям на высших частотах звукового диапазона. Искажения же при копировании на аналоговых аппаратах имеют характер «белого» шума, который на слух почти не ощущается [60].

Естественнее всего было бы переписывать цифровые фонограммы в цифровом же виде, ибо в этом случае никакой потери качества не происходило бы вовсе. Однако именно по этой причине вопрос цифрового копирования стал большим вопросом формата R-DAT с момента его появления. Компании-производители фонограмм посчитали, что такие возможности DAT-магнитофонов нарушают их права и права авторов записанного материала (справедливо, наверное). Поэтому во многих странах, и в первую очередь – в США, DAT-магнитофону был объявлен бойкот. Звукозаписывающие компании заявили, что не допустят его на рынок до тех пор, пока все аппараты не будут оснащены какой-нибудь защитой от бесконтрольного тиражирования фонограмм в цифровом виде.

Самая активная из противников DAT – американская вещательная компания CBS (Columbia Broadcasting System) даже предложила свой вариант такой защиты, который состоял в том, чтобы перед записью музыкальной программы на компакт-диск или DAT-кассету удалять из ее спектра узкую полосу частот вблизи 3,84 кГц. DAT-магнитофон при этом должен содержать специальную микросхему, которая регистрировала бы такую особенность спектра фонограммы и блокировала бы его функцию записи. Эта система получила название **Copycode**.

Однако большинство производителей фонограмм и все музыканты и меломаны очень негативно восприняли такой варварский способ «защиты», так как даже самые грубые тесты показали, что система Copycode попросту портит фонограмму [61-63]. К тому же в отдельных случаях блокиратор срабатывал тогда, когда никакой защиты не было, и, наоборот, не всегда срабатывал при ее наличии. Поэтому система Copycode была единодушно отвергнута [64-68].

Спустя некоторое время свой вариант защиты фонограмм от бесконтрольного размножения предложила фирма Philips. Разработанная ею система давала возможность потребителю сделать единственную цифровую копию материала и блокировала дальнейшее тиражирование. Такая система стала известна как **SCMS (Serial Copying Management System)** или **Solo Copy** [69-70]. Прежде чем знакомиться с ней, рассмотрим, как осуществляется блокировка записи в обычных DAT-магнитофонах, где система SCMS отсутствует.

Механизм ее состоит в следующем. Как говорилось в главе 2.6, информация о разрешении или запрете копирования фиксируется в служебной группе W1 ИКМ-зоны в виде идентификатора ID6. Если ID6 = «00», то копирование разрешено, если ID6 = «10», то копирование запрещено. При соединении двух DAT-магнитофонов через цифровой звуковой интерфейс AES/EBU информация об этом отразится во втором разряде кода «Управление» канала С (если копирование разрешено, то этот разряд будет иметь значение «0», если запрещено, то «1»). Кроме того, DAT-системе, которая в данном случае используется в качестве источника программ, присваивается одна из двух возможных категорий и информация об этом также отражается в канале С интерфейса AES/EBU [59, 71].

Если копирование материала запрещено, то DAT-системе будет присвоена категория 11000000, если разрешено, то – 11000001. В первом случае функция записи будет заблокирована, во втором – нет [60].

Описанный выше алгоритм блокировки работает в том случае, если источник имеет частоту дискретизации, отличную от 44,1 кГц.

Когда же источником сигнала служит компакт-диск или DAT-кассета с предварительной записью, имеющие частоту дискретизации 44,1 кГц, то блокировка происходит автоматически, независимо от значения идентификатора ID6. Таким образом, студийные записи, авторские права на которые защищены, можно переписывать только в аналоговой форме. В цифровой – никогда. Алгоритм такой блокировки показан на рис. 2.41.

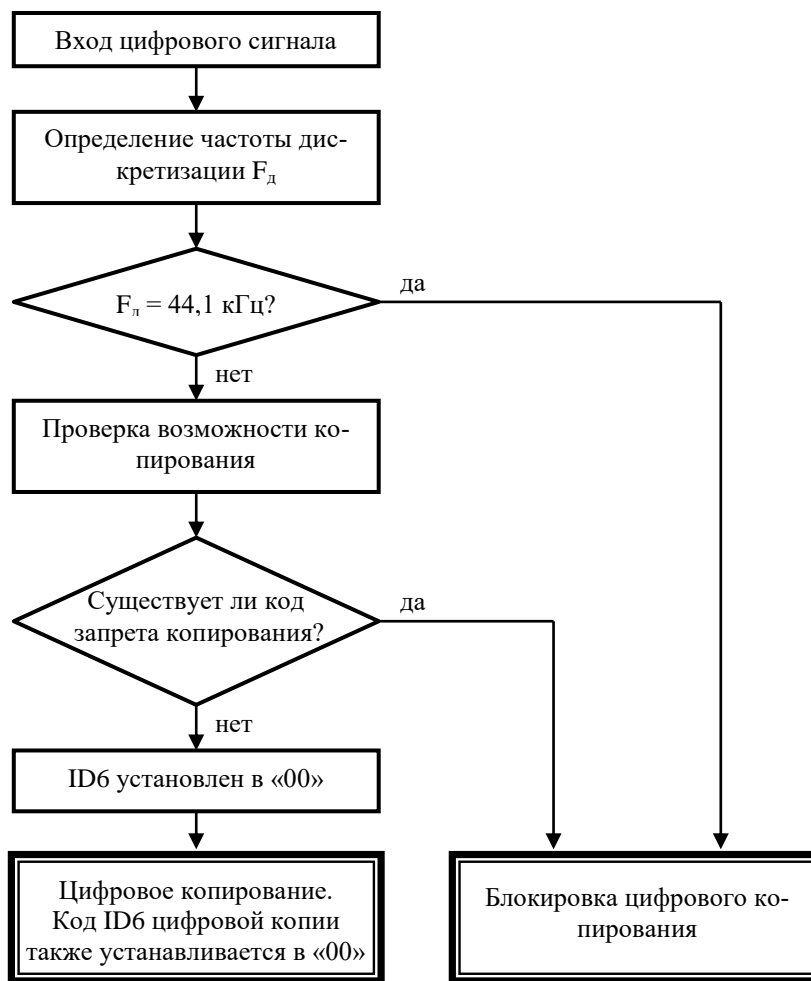


Рис. 2.41. Цифровое копирование с помощью обычных DAT-аппаратов

Теперь вернемся к системе SCMS (рис. 2.42). По замыслу ее разработчиков, для идентификатора ID6 вводится еще одно значение – «11». Такой код должен означать, что отмеченный им материал можно один раз переписать в цифровом виде. При этом в коде категории цифрового интерфейса будет формироваться значение 11000001, разрешающее копирование, а во втором разряде кода «Управление» – «1».

Однако во время записи в идентификаторе ID6 копии будет регистрироваться уже значение «10», запрещающее ее дальнейшее размножение.

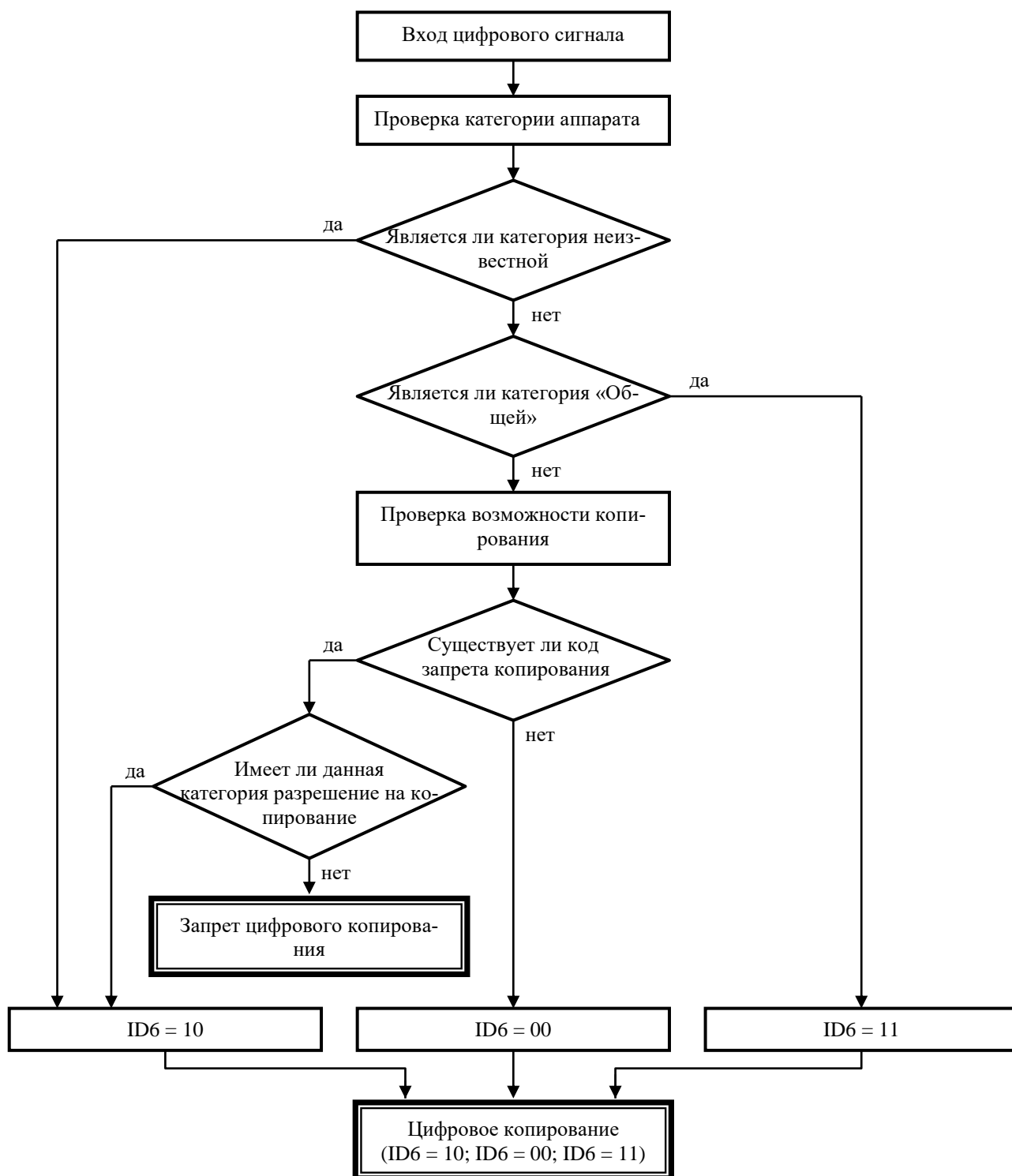


Рис. 2.42. Цифровое копирование при помощи DAT-магнитофона с системой SCMS

Если запись делается с аналогового источника, то ей присваивается значение идентификатора ID6 = «11». Поэтому такую фонограмму также можно будет переписать в цифровом виде всего один раз. После этого ей будет присвоен идентификатор ID6 = «10», и дальнейшее тиражирование станет невозможным [60].

Такое положение вещей создает некоторые неудобства для пользователей. Например, система SCMS очень не понравилась начинающим музыкантам, которые хотели бы сами редактировать свои собственные записи на бытовом DAT-магнитофоне. Система SCMS лишила их такой возможности. Для редактирования у них теперь всего один шанс [72].

Тем не менее система SCMS была одобрена звукозаписывающими компаниями и по сей день используется в большинстве моделей DAT-магнитофонов [73-80].

2.13. Некоторые особенности применения формата R-DAT в профессиональной сфере

Первоначально магнитофоны R-DAT были задуманы в качестве цифровой альтернативы бытовым аналоговым магнитофонам. Однако высокое качество фонограмм, не уступающее студийному, простота в обращении и, самое главное, низкая стоимость сразу же привлекли к нему внимание специалистов в области профессиональной звукозаписи. По своим техническим характеристикам – частота дискретизации 48 кГц и 16-разрядное квантование – DAT-магнитофон вполне вписывается в стандарты студийного вещания [81, 82].

В настоящее время на радиостанциях, телевизионных центрах и в музыкальных студиях в большинстве случаев все еще используются громоздкие стационарные магнитофоны с неподвижными головками и открытыми катушками. Сделанные с их помощью записи невозможно воспроизвести где-то вне студии.

Если же в качестве студийного используется магнитофон R-DAT, то появляется возможность взаимозаменяемости звуковых программ бытового и профессионального назначения. Материал в этом случае можно воспроизводить на любой аппаратуре. Запись, сделанная с помощью бытового DAT-магнитофона, может непосредственно использоваться в профессиональных целях. В то же время кассета с профессиональной записью может быть прослушана в любом месте, где есть бытовой DAT-магнитофон.

Тем не менее, несмотря на столь высокие характеристики и универсальность записей, сделанных в формате R-DAT, сами магнитофоны – те, что предназначены для эксплуатации в бытовых условиях, в

качестве профессиональных использовать довольно затруднительно. Дело в том, что даже при подготовке элементарной программы вещания звукоинженеру требуется целый ряд дополнительных функций, которыми бытовой аппарат не обладает [81, 83]. Важнейшие из них будут рассматриваться в данном разделе.

2.13.1. Контроль качества фонограмм в процессе записи

Функция контроля качества фонограмм (воспроизведение одновременно с записью) обязательна для всех профессиональных магнитофонов.

Для ее реализации профессиональный DAT-магнитофон снабжается не двумя вращающимися головками, а четырьмя.

Две дополнительные головки А' и В' размещаются на рабочей поверхности вращающегося барабана позади основных головок А и В — под углом 90° к ним (рис. 2.43,а). В режиме записи дополнительные головки следуют за основными и воспроизводят только что записанный на ленту сигнал, обеспечивая тем самым возможность его контроля.

Такой подход впервые был реализован фирмой Fostex в своей профессиональной модели D20 [84-85].

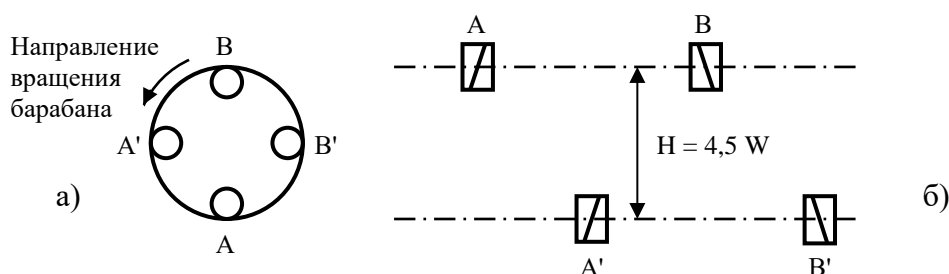


Рис. 2.43. Размещение дополнительных головок на вращающемся барабане: а) вид сверху; б) вид сбоку

2.13.2. Функция электронного редактирования

При подготовке студийной фонограммы практически всегда требуется ее редактирование, т.е. соединение нескольких фрагментов из разных фонограмм, замена какого-то фрагмента другим (вставка) и т.д.

В аналоговых магнитофонах это обеспечивалось путем тривиального разрезания ленты с фонограммой и последующей склейки нужных кусков. В цифровых магнитофонах, а тем более с вращающимися головками, так делать уже нельзя. Поэтому профессиональный цифровой магнитофон должен обладать способностью получения каче-

ственного (незаметного на слух) соединения фрагментов различных фонограмм электронным способом.

В профессиональных DAT-магнитофонах, имеющих четыре головки, электронный монтаж обеспечивается за счет того, что воспроизводящие и записывающие головки в режиме редактирования меняются ролями. Воспроизводящими в этом случае становятся те, которые движутся впереди, а записывающими – те, которые движутся вслед за ними.

Вначале задняя головка просто переписывает то, что было только что считано передней головкой. В нужный момент происходит переключение считанного сигнала на внешний и, таким образом, осуществляется монтажный переход (рис. 2.44).

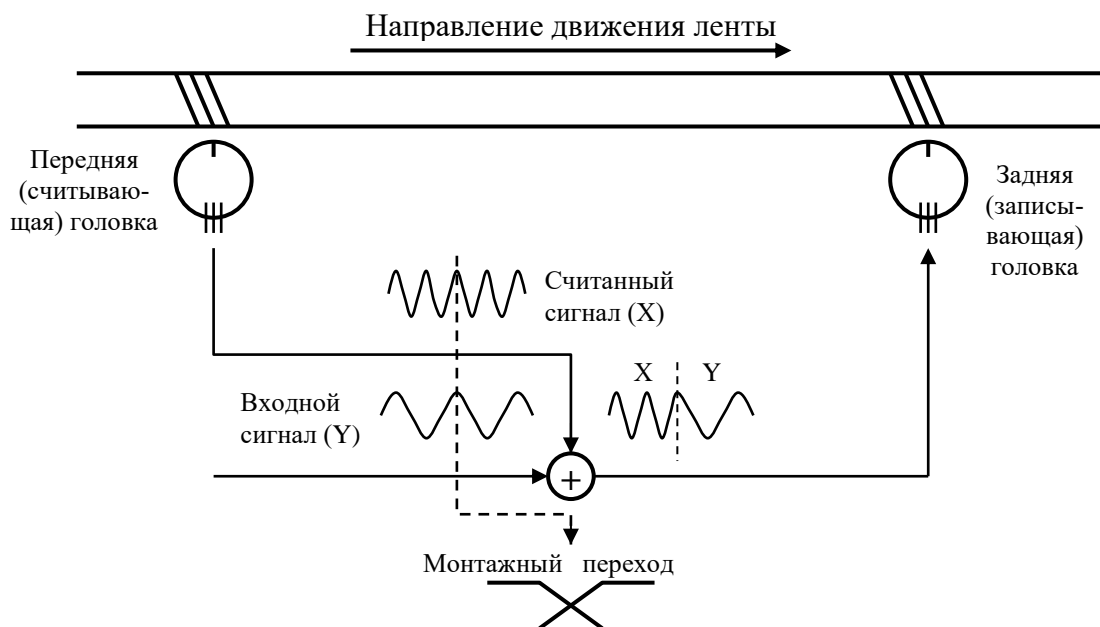


Рис. 2.44. Формирование монтажного перехода в точке редактирования

Во время работы магнитофона в режиме редактирования считанный передней головкой сигнал подвергается декодированию с коррекцией ошибок, а перед записью задней головкой вновь кодируется. Этот процесс, естественно, требует времени. Поэтому, чтобы воспроизведенный передней головкой сигнал записывался на ту же самую дорожку, откуда был считан, задняя (записывающая) головка должна быть размещена на барабане с некоторым сдвигом h вдоль оси его вращения (рис. 2.43,б). Общее время обработки сигнала примерно равно двум периодам оборота барабана, т.е. сдвиг h должен быть равен ширине четырех соседних дорожек ($4W$).

Но, поскольку пары головок повернуты относительно друг друга на 90° , то в величину сдвига h должна быть введена поправка, равная $0,5W$, т.к. лента за четверть оборота барабана успевает переместиться на половину ширины дорожки. Следовательно, общий сдвиг должен составлять $4,5W$.

Кроме того, существует еще один неприятный момент. Из-за наклонного расположения дорожек на ленте их края несколько сдвинуты относительно друг друга. Если разворот головок сделать равным точно 90° , то запись сигнала задней головкой начнется раньше, чем закончится считывание передней головкой (рис. 2.45). Сигналы записи и считывания в БВГ DAT-магнитофона передаются к головкам и от них - через вращающийся трансформатор. Если сигналы записи и считывания совпадут по времени, то возникнут перекрестные искажения (рис. 2.46,а).

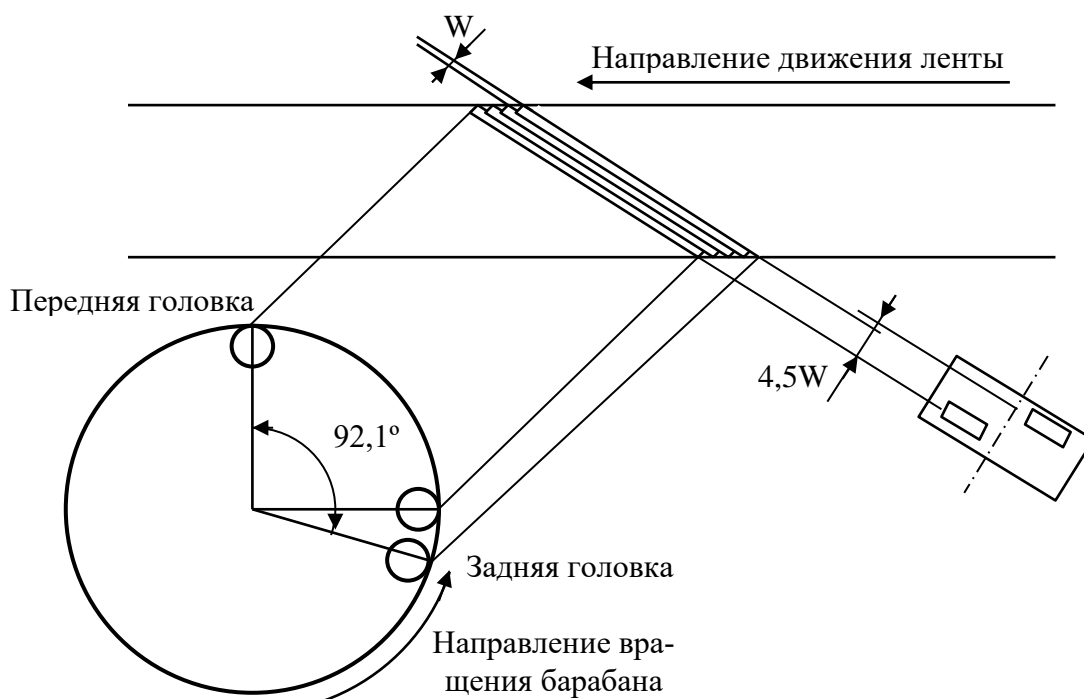


Рис. 2.45. Определение угла разворота между передней и задней головками

Чтобы избавиться от такой неприятности, дополнительная пара головок должна быть повернута не на 90° , а чуть больше – на $92,1^\circ$ (рис. 2.45). При таком их расположении сигналы записи и считывания перестанут мешать друг другу, и никаких искажений не будет (рис. 2.46,б) [85].

Для того чтобы монтажный переход был плавным, заменяемый сигнал X умножается на некоторые убывающие коэффициенты и его

уровень падает, а заменяющий сигнал Y в то же самое время умножается на возрастающие коэффициенты и его уровень растет. Происходит постепенная замена сигнала X на сигнал Y . Общий же уровень сигнала при этом остается постоянным. Если этого не делать, то в момент сопряжения будет отчетливо слышен щелчок.

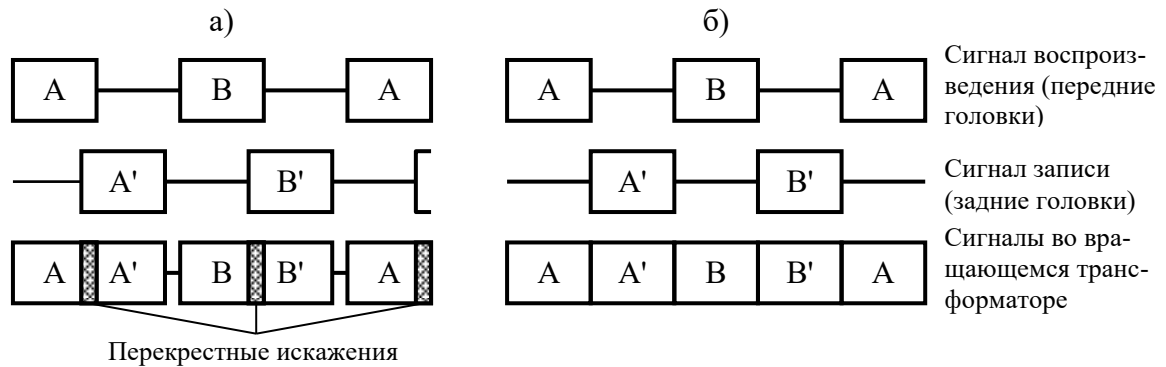


Рис. 2.46. Временные диаграммы сигналов записи/воспроизведения 4-головочной системы

Чтобы разнообразить форму монтажного перехода, редактирование лучше производить через микшерный пульт, где имеется возможность варьировать как характер изменения коэффициентов, так и продолжительность монтажного перехода.

Тем не менее хорошие результаты получаются и при редактировании непосредственно в магнитофоне.

2.13.3. Запись временного кода

Для того чтобы обеспечить синхронную работу с видеомагнитофонами различных систем телевизионного вещания (NTSC, PAL, SECAM), а также редактирование записанного материала, в профессиональном DAT-магнитофоне должен быть предусмотрен режим записи временного кода в соответствии с международным стандартом SMPTE/EBU [86]. Причем, нужно, чтобы запись и воспроизведение такого кода осуществлялись независимо от записи и воспроизведения звуковой информации, содержащейся в ИКМ-зоне. Другими словами, нужно, чтобы временной код можно было записать до, во время или после записи звукового сигнала.

В системе R-DAT обновление или изменение служебной информации, содержащейся в ИКМ-зоне, возможно только путем перезаписи всей дорожки. Однако, если требуется обновить информацию только в дополнительной зоне (зоне субкода), то это можно сделать, не трогая информацию, содержащуюся в ИКМ-зоне.

Следовательно, удобнее всего временной код записывать в зоне субданных.

Но даже в этом случае, если попытаться с помощью обычного DAT-магнитофона записать временной код независимо от звукового сигнала и сопутствующих ему субданных, то данные субкода при этом все равно будут потеряны. По этой причине с помощью бытового DAT-магнитофона с двумя головками временной код отдельно записать нельзя.

Однако такая проблема легко решается в профессиональных магнитофонах с четырьмя головками. Здесь запись временного кода в зоне субданных производится тем же способом, что и редактирование звуковой информации в ИКМ-зоне, причем, плавного монтажного перехода здесь, разумеется, делать не надо [84, 85]. Временной код вставляется точно в то место зоны субкода, где ему и положено быть. Остальные субданные переписываются без изменений.

2.13.4. Синхронизация

Еще одной особенностью цифровой аппаратуры, не всегда отчетливо понимаемой операторами, является необходимость жесткой синхронизации цифровых источников. Среди специалистов, имевших дело с аналоговой аппаратурой, нет четкого понимания принципов и важности синхронизации, поскольку раньше от них этого и не требовалось. Между тем, несоблюдение принципов синхронной работы как раз и приводит к появлению многочисленных искажений в звуковом сигнале.

Инженерам по звукозаписи следует помнить, что 48 кГц в одной части системы не равно 48 кГц в другой части той же системы. Эти частоты должны быть одинаковы с точностью до фазы, т.е. должны быть одним и тем же сигналом. Невозможно сделать абсолютно идентичными даже два кварцевых резонатора, работающих в схемах задающих генераторов цифровой аппаратуры. Поэтому частоты их будут всегда хоть чуточку, но различными. А малейшие различия в периодах колебаний задающих генераторов приведут к накоплению фазовой ошибки и в конце концов к потере бита, или к появлению лишнего бита. А это означает искажения. И чем больше разница частот, тем больше получается искажений.

Поэтому все цифровые аппараты, участвующие в процессе обмена информацией, должны быть синхронизированы от одного источника. Им может быть один из этих же цифровых аппаратов (из числа тех, с которых производится запись) или какое-то централизованное

устройство – например, микшерный пульт или специальный генератор синхронизирующих сигналов [87].

2.13.5. Другие функции

К другим функциям, которыми должен обладать профессиональный DAT-магнитофон, можно отнести функцию изменения скорости воспроизведения – например, в пределах $\pm 12\%$, функцию обратного воспроизведения, наличие профессиональных входных/выходных интерфейсов и разъемов, функцию автоматического определения положения, функцию просмотра вставок, функцию измерения длительности фрагмента и т.д.

И еще об одном. Когда DAT-магнитофон только появился, многие сомневались в возможности его использования в качестве профессионального. В частности, считалось, что при этом будет много выпадений, которые приведут к серьезному ухудшению качества фонограмм. Приводились даже результаты испытаний, когда выпадения появлялись уже после пятого воспроизведения DAT-кассеты. Другие же испытания показывали, что выпадений не было даже при нескольких тысячах воспроизведений. Оказалось, что во всем виновато загрязнение головок. Экспериментаторы почему-то полагали, что все цифровое не нуждается ни в обслуживании, ни в очистке головок.

В аналоговых магнитофонах при загрязнении или неправильной установке головок пропадают высокие частоты, а звук становится неустойчивым и дрожащим. В цифровых же магнитофонах при аналогичных обстоятельствах звук начинает иногда пропадать, т.к. при больших выпадениях включается система приглушения. Однако здесь есть некоторая скрытая зона, когда приглушения еще нет, но есть множество интерполяций, которые тоже приводят к искажениям в области высоких частот. Чтобы выявить эту скрытую зону, многие фирмы делают профессиональные цифровые магнитофоны с возможностью отключения функций интерполяции и приглушения. При этом можно прямо на слух оценить качество записи, связанное с количеством и характером выпадений, вызванных состоянием головок или же самой ленты [87]. Некоторые модели даже снабжены индикаторами включений режима приглушения, который является наихудшим случаем искажения, обусловленным повреждением большого числа отсчетов звукового сигнала.

Так что специалистам, имеющим дело с DAT-магнитофонами, следует помнить, что они также нуждаются в обслуживании, как и прочая звукозаписывающая техника. Может быть значительно реже, но все же нуждаются.

2.14. Образцы DAT-магнитофонов

На рис. 2.47 представлена полупрофессиональная модель DAT-магнитофона PCM-R300 фирмы SONY, предназначенная для использования в домашних и прожект-студиях. Как и всякая профессиональная, данная модель позволяет игнорировать коды защиты от копирования (SCMS) и декодировать служебную информацию канала Q в формате CD. Имеет двухмоторный лентопротяжный механизм с двумя головками и удобную систему меню. Для преобразования звуковых сигналов здесь используются 20-разрядный сигма-дельта АЦП и 1-разрядный ЦАП. Частоты дискретизации 48 кГц, 44,1 кГц и 32 кГц. Предусмотрен режим "сквозного" канала. Аналоговые входы и выходы выполнены на несимметричных разъемах RCA. Прибор укомплектован коаксиальными и оптическими цифровыми входами и выходами, удобным большим индикатором и беспроводным пультом дистанционного управления. При студийных инсталляциях возможен монтаж PCM-R300 в 19" рЭК (3 U) [88].



Рис. 2.47. DAT-магнитофон PCM-R300 фирмы SONY

На рис. 2.48 показан профессиональный DAT-магнитофон DA-60MKII фирмы TASCAM, предназначенный для подготовки программ телевидения и радиовещания. Четырехголовочный лентопротяжный механизм обеспечивает организацию «сквозного» канала.

Обеспечивается работа с временным кодом SMPTE, который может как формироваться внутренним генератором, так и записываться от внешнего источника. В лентопротяжном механизме с прямым приводом используются четыре прецизионных двигателя.

Имеет цифровые входы и выходы как в профессиональном интерфейсном формате AES/EBU, так и в потребительском S/PDIF. Аналоговые выходы - как балансные с разъемами XLR, так и небалансные с разъемами RCA. Аналоговые входы - балансные с разъемами XLR.

Предусмотрена также работа с интерфейсом RS422. Используются отдельные блоки питания для ЦАП и АЦП.

Двойные клавиши MEMO и LOC позволяют расставлять временные метки на фонограмме для выполнения различных операций по редактированию. Поиск начала следующей или предыдущей дорожки обеспечивается одним прикосновением [89].



Рис. 2.48. DAT-магнитофон DA-60MKII фирмы TASCAM

Портативная модель DAT-магнитофона TCD-D10PROII фирмы SONY (рис. 2.49) предназначена как для репортерской работы, так и для высококачественной записи звука во внестудийных условиях. Несмотря на миниатюрные размеры, соответствует самым строгим профессиональным стандартам, включая наличие профессионального интерфейса AES/EBU. Обеспечивает запись на частотах дискретизации 32 кГц, 44,1 кГц и 48 кГц. Для оперативного контроля записываемого материала имеет встроенный громкоговоритель и выход на головные телефоны. Работа механической части магнитофона обеспечивается четырьмя прецизионными двигателями с микропроцессорным управлением [90].



Рис. 2.49. Репортерский DAT-магнитофон TCD-D10PROII фирмы SONY

3. DASH

Цифровые многодорожечные катушечные магнитофоны формата DASH (Digital Audio Stationary Head), предназначенные для профессионального использования, появились в начале 80-х годов. Принято считать, что это совместная разработка фирм Sony и Studer, однако, если верить разработчикам фирмы Sony [91], то к числу соавторов, справедливости ради, следует отнести еще и фирму Matsushita.

3.1. Общая характеристика формата

Формат DASH, как следует из его названия (Stationary Head – стационарная головка), предполагает запись цифровой звуковой информации на ленту с помощью неподвижной головки. Строго говоря – с помощью монолитного блока головок, который может содержать от 2 до 48 полюсов, каждый из которых предназначен для записи одной цифровой звуковой дорожки. Кроме этих основных дорожек, формат DASH предусматривает запись еще четырех дополнительных дорожек, две из которых – аналоговые звуковые (режиссерские), одна – для записи сигналов управления и синхронизации и одна – для записи временного кода в соответствии со стандартом SMPTE (Society of Motion Picture and Television Engineers – Общество инженеров кино и телевидения – международная организация, разрабатывающая и рекомендуемая стандарты для кинематографии и телевидения).

В общем случае, DASH – это не один формат, а семейство форматов, отличающихся шириной используемой ленты, скоростью ее перемещения, количеством дорожек на ней, частотой дискретизации звукового сигнала и даже разрядностью квантования (последние версии).

Лента может использоваться как полудюймовая (шириной 12,7 мм), так и как четвертьдюймовая (шириной 6,3 мм).

Скорости перемещения ленты: медленная - 19,05 см/с (S – Slow); номинальная – 38,1 см/с (M – Medium) и быстрая – 76,2 см/с (F – Fast).

Основная частота дискретизации – 48 кГц. Дополнительные – 44,1 и 32 кГц. Разрядность квантования – 16 бит. Однако последняя версия формата (DASH Plus) предусматривает уже и 24-разрядное разрешение (модель PCM-3348HR фирмы Sony и модель D827MCH фирмы Studer).

Характеристики разновидностей формата DASH приведены в табл. 3.1.

Первым магнитофоном формата DASH, получившим широкую известность среди специалистов, стал 24-дорожечный магнитофон РСМ-3324 фирмы Sony (рис. 3.1). Появился он в октябре 1982 года – одновременно с CD-проигрывателем. В 1983 году формат DASH был стандартизован [92].

Таблица 3.1

Характеристики разновидностей формата DASH

Тип формата	S		M		F	
Частота дискретизации, кГц	48/44,1/32		48/44,1/32		48/44,1/32	
Скорость перемещения ленты, см/с	19,05/17,5/12,7		38,1/35,0/25,4		76,2/70,01/50,8	
Плотность записи	Норм.	Двойная	Норм.	Двойная	Норм.	Двойная
Число каналов:						
- лента 6,3 мм (DASH)	2	4	4	8	8	16
- лента 12,7 мм (DASH)	6	12	12	24	24	48
- лента 6,3 мм (Twin DASH)	-	2	2	-	-	-



Рис. 3.1. Магнитофон РСМ-3324 фирмы Sony

В течение нескольких лет со дня своего появления магнитофон РСМ-3324 постоянно дорабатывался. К концу 80-х годов он был усовершенствован до такой степени, что считался образцом многодоро-

жечного цифрового магнитофона с неподвижными головками и широко использовался во всех уважающих себя студиях мира.

В 1988 году появился 48-дорожечный магнитофон РСМ-3348 (рис. 3.2), в котором также используется полудюймовая лента и который обеспечивает полную взаимозаменяемость со своим предшественником РСМ-3324 благодаря тому, что 24 дополнительные дорожки здесь записываются в промежутках между дорожками предыдущего формата (рис. 3.3). Расположение дополнительных дорожек в обоих случаях одинаково. Дополнительные дорожки 1 и 4 – это аналоговые режиссерские. Дополнительная дорожка 2 служит для записи временного кода по стандарту SMPTE, а дополнительная дорожка 3 – для записи сигналов управления.



Рис. 3.2. Магнитофон РСМ-3348NR

Привлекательной для режиссеров особенностью формата DASH является возможность механического монтажа фонограмм путем разрезания ленты с помощью ножниц и последующей склейки нужных кусков. Такая возможность обеспечивается за счет использования глубокого перемежения данных.

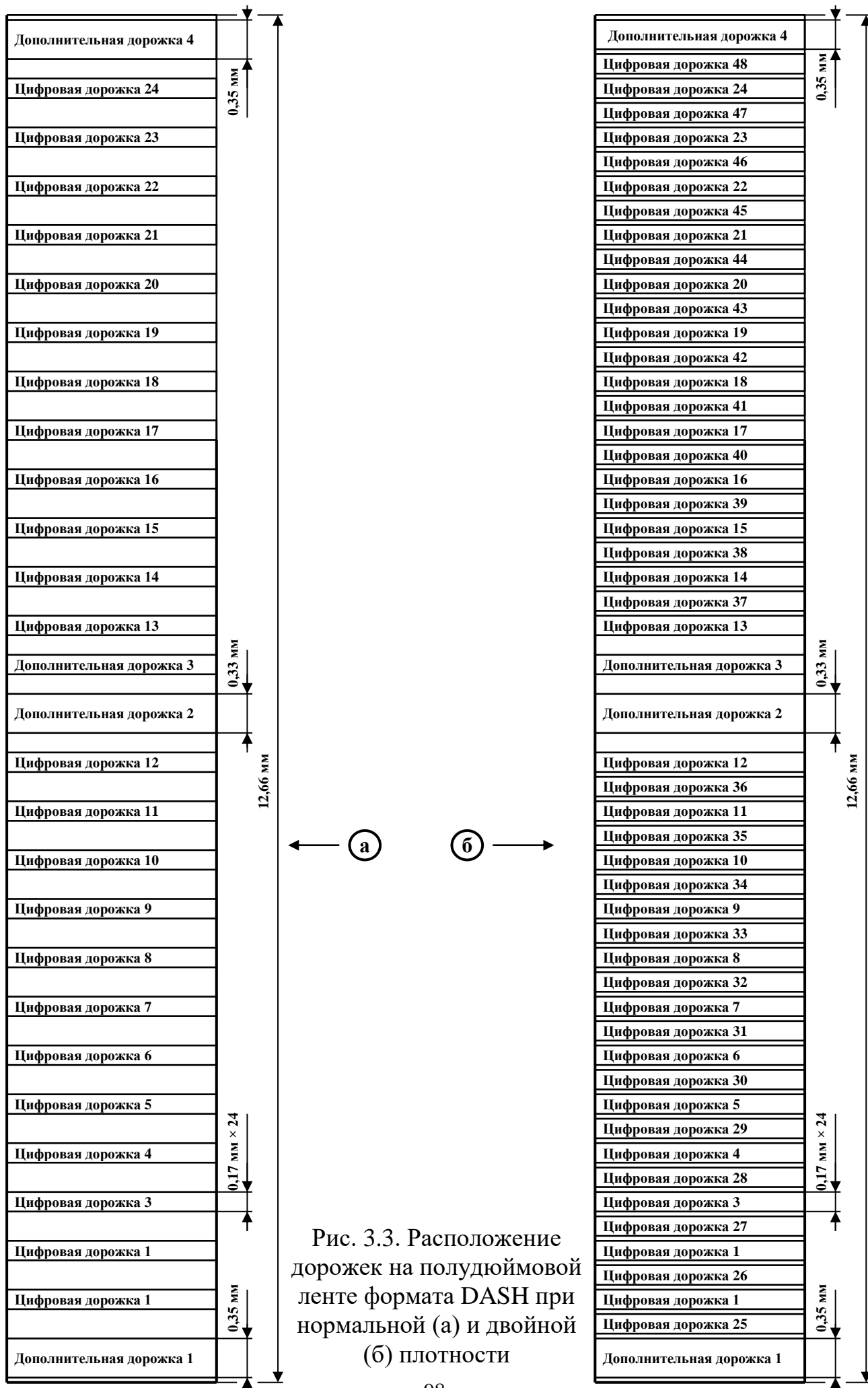


Рис. 3.3. Расположение дорожек на полудюймовой ленте формата DASH при нормальной (а) и двойной (б) плотности

В результате соседние отсчеты звукового сигнала оказываются на расстоянии нескольких сантиметров друг от друга, и при воспроизведении утраченные при монтаже отсчеты восстанавливаются методом интерполяции.

3.2. Структура данных в формате DASH

Данные в формате DASH организованы в **блоки**, состоящие из 18 **слов**, каждое из которых, в свою очередь, состоит из 16 двоичных разрядов (рис. 3.4). Такая размерность слов была принята из-за того, что в период разработки формата DASH наиболее распространенным видом квантования звукового сигнала было 16-разрядное, и для простоты обработки данных удобнее всего было пользоваться словами с такой же разрядностью. Всего в блоке 288 бит. Четыре последовательных блока образуют **сектор**.

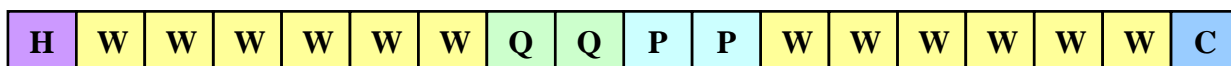


Рис. 3.4. Структура блока данных в формате DASH:

Н – заголовок; W – отсчет звукового сигнала; P, Q – проверочные слова кодов P и Q соответственно; С – проверочное слово кода CRC

Как и во всякой другой системе записи или передачи цифровой информации, звуковые данные в формате DASH кодируются с целью защиты от возможных ошибок и модулируются перед записью на носитель.

Для защиты от ошибок здесь используются трехкаскадное помехоустойчивое кодирование и три этапа перемежения данных. Такая система защиты от ошибок известна под аббревиатурой **CIC (Cross Interleave Code)** – код с перекрестным перемежением) [93].

Коды защиты от ошибок, используемые в формате DASH, чрезвычайно просты – это два этапа элементарной проверки на четность (сложение слов по модулю 2) – коды P и Q, и вычисление остатка от побитного деления всей информации блока за исключением 11-разрядной синхрогруппы на порождающий полином $G(x) = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$. Последняя процедура, которая известна как кодирование путем вычисления циклической избыточности **CRCC (Cyclic Redundancy Check Code)**, обеспечивает лишь обнаружение ошибок в блоке, а каждая из проверок на четность способна исправить только одну ошибку. Эффективные коды Рида-Соломона, используемые для защиты от ошибок в других цифровых форматах, здесь не используются – по причине сложности программной и аппаратной реализации проце-

дур кодирования и декодирования. Тем не менее благодаря хорошо продуманной структуре трехкаскадного перемежения, даже такие слабые коды обеспечивают вполне эффективную защиту звуковой информации от воздействия ошибок.

Начинается процедура помехоустойчивого кодирования с того, что в потоке 16-разрядных отсчетов (каждого из звуковых каналов) выделяются массивы из 12 отсчетов (будущие блоки данных). Затем каждое четное слово (отсчет звукового сигнала) задерживается относительно нечетного на величину $D_1 = 204$ блока. Такая задержка соответствует расстоянию между соседними отсчетами на магнитной ленте 38,86 мм. Это первый этап перемежения. Он обеспечивает возможность линейной интерполяции искаженных отсчетов в том случае, если при воспроизведении ошибки не удастся исправить с помощью проверок на четность. Таким образом, образуются блоки, в которых только нечетные слова принадлежат данному блоку, а четные взяты из блока, предшествующего данному на 204 единицы.

Далее производится кодирование слов блока данных кодами Р и Q. Для четных и нечетных слов эти процедуры выполняются отдельно – независимо друг от друга. Перед выполнением кодирования слова одного блока данных делятся на четные и нечетные и порядок их расположения изменяется (рис. 3.5).

Проверочные слова Р для четных и нечетных слов данных W формируются в соответствии с одним и тем же выражением (рис. 3.6)

$$P = W_i + W_{i+4} + W_{i+8} + W_{i+2} + W_{i+6} + W_{i+10},$$

где $i = 12N+1$ для нечетных слов и $i = 12N+2$ для четных слов при $N=0,1,2,3,\dots$

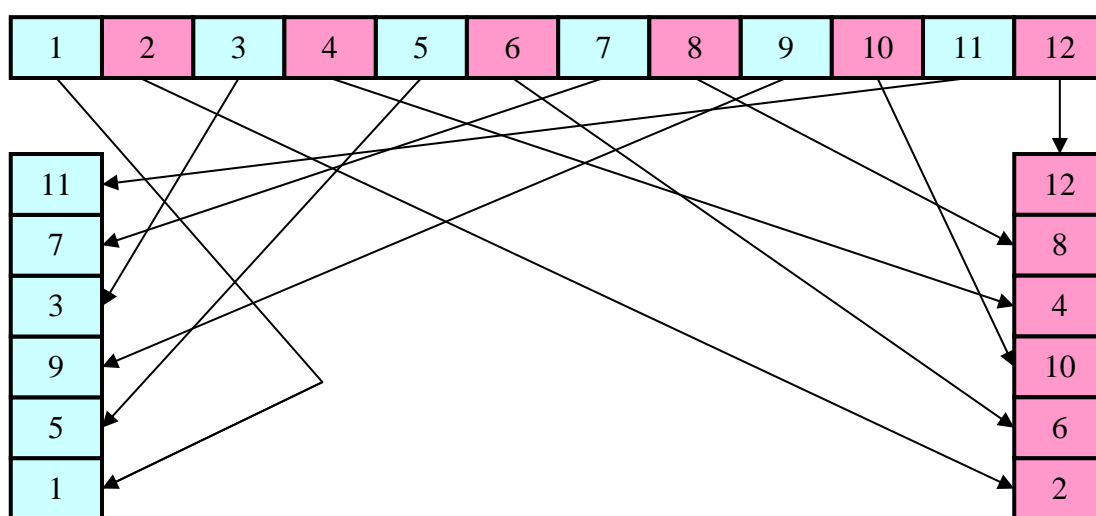


Рис. 3.5. Формирование массивов данных перед кодированием кодами Р и Q

Проверочные слова Q для четных и нечетных слов данных W формируются в соответствии с выражением (рис. 3.7)

$$Q = W_{i+4d \times 12} + W_{i+4+3d \times 12} + W_{i+8+2d \times 12} + P_{i+d \times 12} + W_{i+2-d \times 12} + W_{i+6-2d \times 12} + W_{i+10-3d \times 12},$$

где d – задержка на 2 блока.

Изменение порядка следования слов внутри блока и использование задержек переменной длины при выполнении процедур кодирования кодами P и Q образует перемежение второго этапа.

Третий этап перемежения состоит в том, что после вычисления проверочных слов P и Q символы каждого из массивов, состоящего из нечетных и четных слов, задерживаются относительно друг друга с интервалом $D_2 = 17$ блоков или 204 слова, что обеспечивает равномерное распределение этих слов на участке дорожки записи длиной 22,7 мм (рис. 3.8).

После выполнения всех операций кодирования кодами P и Q и перемежения блок данных будет выглядеть, как показано на рис. 3.9.

Далее перед первым словом блока размещаются пять служебных бит, которые входят в состав заголовка H (рис. 3.4), и полученные таким образом $16 \times 16 + 5 = 261$ бит делятся на порождающий полином $G(x) = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$ кода CRC. Полученный 16-разрядный остаток C размещается в конце блока (рис. 3.4).

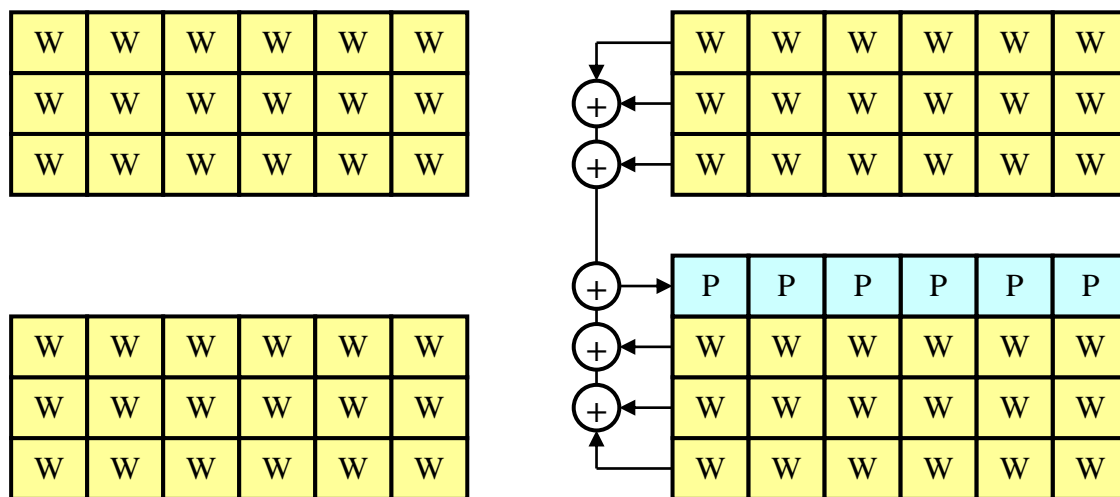


Рис. 3.6. Формирование проверочных слов кода P

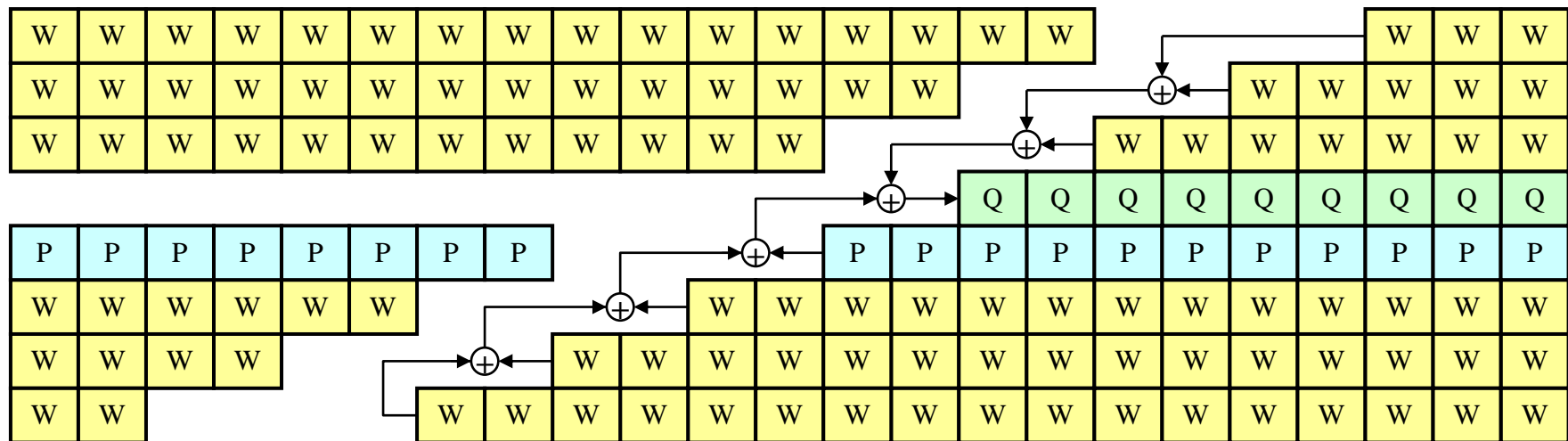


Рис. 3.7. Формирование проверочных слов кода Q

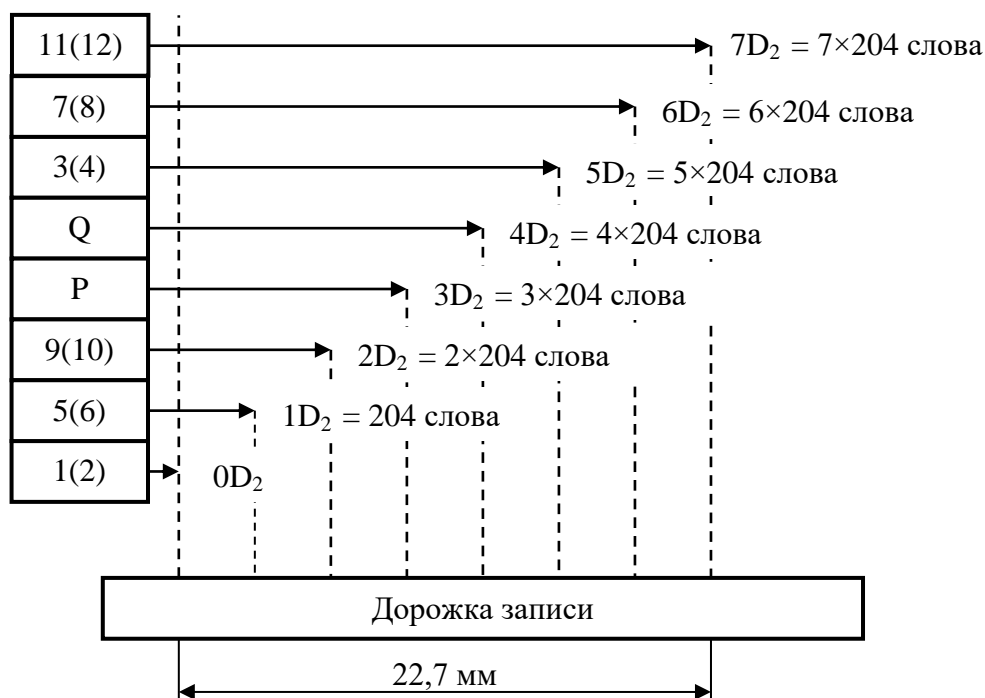


Рис. 3.8. Перемежение третьего этапа в формате DASH

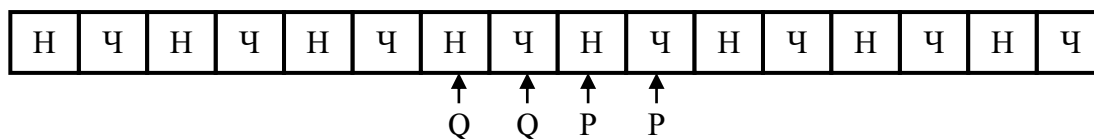


Рис. 3.9. Расположение информационных и проверочных слов в блоке:
Н – нечетные слова; Ч – четные слова

Пять служебных бит заголовка имеют следующие значения (рис. 3.10). Биты V_1 и V_0 соответствуют номеру блока внутри сектора в двоичном коде (00, 01, 10, 11). Биты W_1 и W_2 характеризуют число перезаписей дорожки – также в двоичном коде. Бит F является указателем **имфазиса**, т.е. указывает на наличие (1) или отсутствие (0) предскажений (**преимфазиса**) звукового сигнала перед записью. Если предсказания присутствуют, то при воспроизведении к выходу звукового сигнала автоматически должна подключаться цепь для их компенсации (**деимфазиса**). Характеристика используемых в формате DASH предскажений стандартизована и известна как имфазис 50/15 (рис. 3.11). Имфазис с такой характеристикой используется практически во всех форматах цифровой звукозаписи.

Сформированный таким образом блок данных подается на модулятор, где производится его модуляция кодом HDM-1 и в начале блока формируется 11-разрядная синхрогруппа.

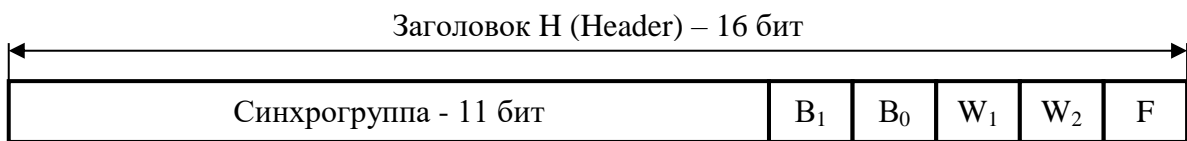


Рис. 3.10. Структура заголовка блока данных

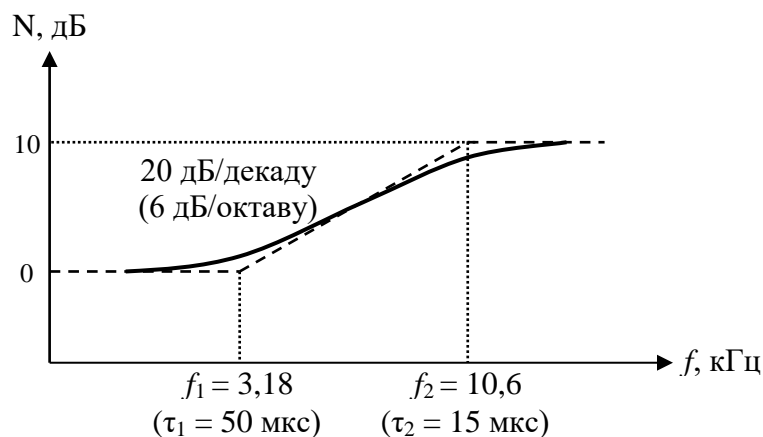


Рис. 3.11. Характеристика преимфазиса 50/15

3.3. Модуляция

Для модуляции потока данных в формате DASH используется специально разработанный для этого код **HDM-1 (High Density Modulation)** [94].

Правила кодирования по методу HDM-1 следующие. Сочетание бит 01 исходных данных кодируется перепадом уровня в середине тактового интервала, где располагается «1» (рис. 3.12). Очевидно, что при таком методе кодирования канальная тактовая частота будет вдвое выше исходной.

Если в потоке исходных данных существуют непрерывные последовательности «единиц», то они делятся на группы по 2 «единицы» в каждой. Если число таких «единиц» нечетно, то последняя группа будет включать в себя 3 «единицы». После каждой группы при кодировании будет формироваться перепад уровня (рис. 3.13).

Когда в потоке исходных данных существуют непрерывные последовательности «нулей», то перепады уровня на границах тактовых интервалов будут формироваться в том случае, если число «нулей» больше трех. При этом каждый перепад должен располагаться не ближе $3,5T$ от предшествующего перепада и не ближе $1,5T$ от центра следующей непосредственно за «нулями» «единицей» (рис. 3.14).

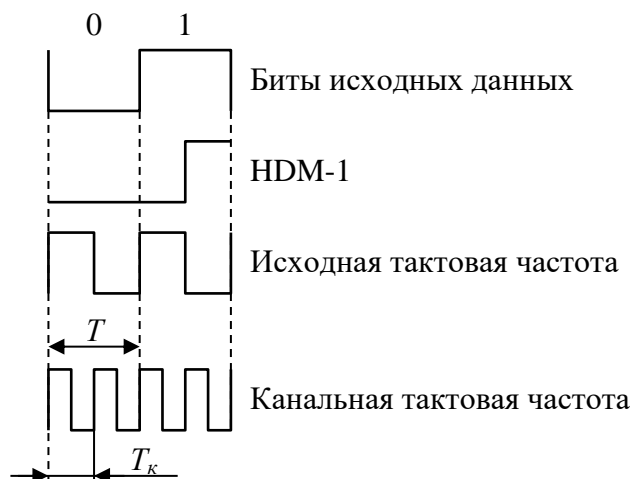


Рис. 3.12. Кодирование сочетания исходных бит 01 кодом HDM-1

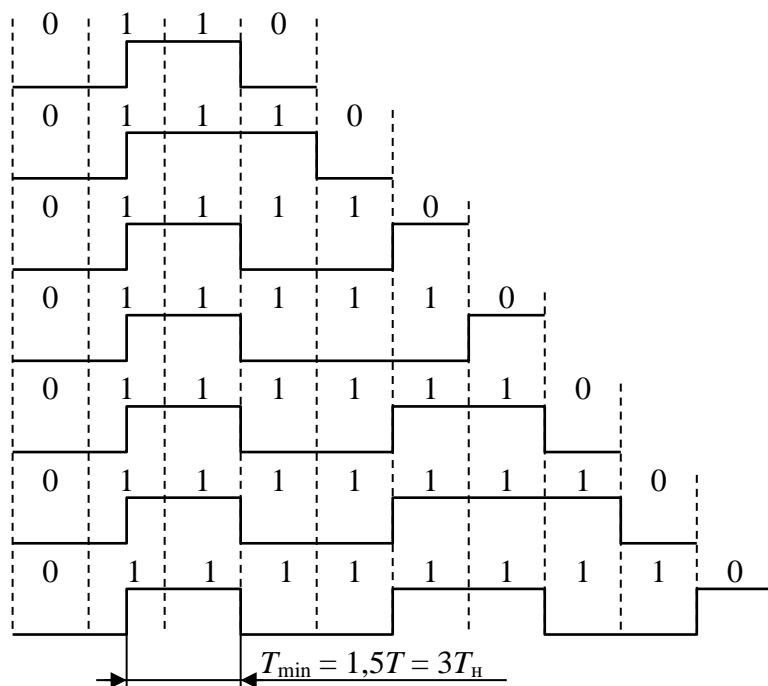


Рис. 3.13. Кодирование непрерывных последовательностей «единиц»

Технические характеристики кода HDM-1:

- минимальная длина волны записи $\lambda_{\min} = 6T_k$;
- максимальная длина волны записи $\lambda_{\max} = 18T_k$;
- минимальная длина пробега $T_{\min} = 3T_k$;
- максимальная длина пробега $T_{\max} = 9T_k$;
- окно детектирования $t_w = 1/2 T = \pm 1/4 T$.

В качестве синхрогруппы в формате DASH используется конфигурация, включающая в себя два подряд следующих максимальных интервала между соседними перепадами уровня длиной $4,5T$

(рис. 3.15). Такое сочетание в потоке данных невозможно, поэтому синхрогруппа легко может быть идентифицирована опознавателем устройства блочной синхронизации.

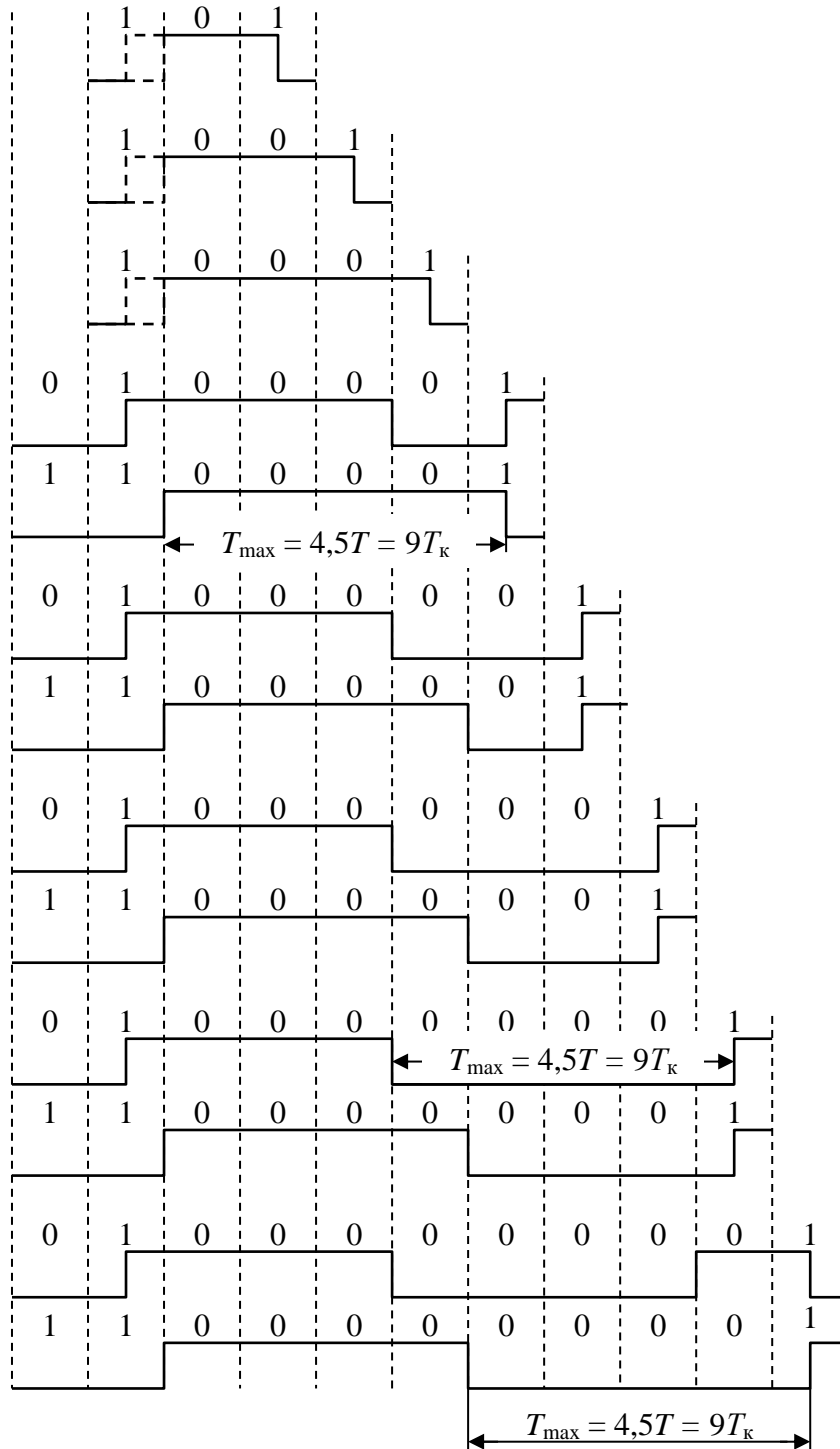


Рис. 3.14. Кодирование непрерывных последовательностей «нулей»

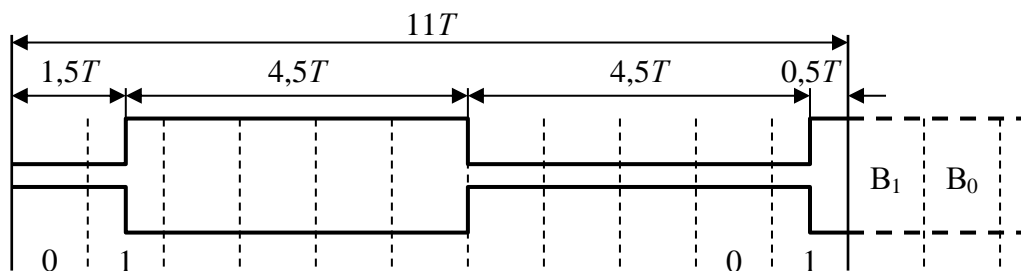


Рис. 3.15. Конфигурация синхрогруппы блока данных

3.4. Канал управления

Данные, записываемые на дорожку управления (дополнительная дорожка 3 на рис. 3.3), организованы в массивы, называемые секторами. Структура сектора показана на рис. 3.16. Размер сектора (по длине участка дорожки на ленте и по продолжительности во времени) равен размеру четырех блоков данных. Начало сектора должно совпадать с началом блока данных, у которого биты B_1 и B_0 заголовка равны 0 (рис. 3.10).

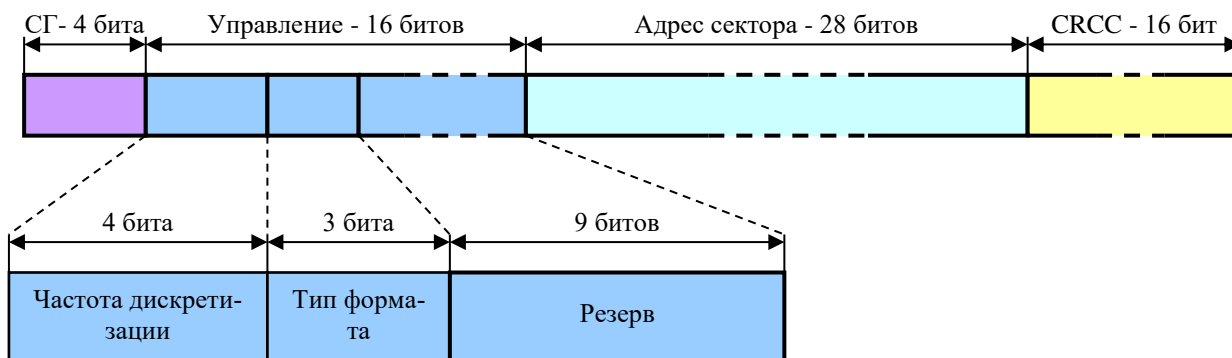


Рис. 3.16. Структура сектора канала управления
СГ - синхрогруппа

Первые 4 бита группы «Управление» указывают на используемую при записи частоту дискретизации:

- 0001 – 48 кГц;
- 0010 – 44,1 кГц;
- 0011 – 32 кГц.

Следующие три бита идентифицируют тип формата DASH:

- 000 – F;
- 001 – M;
- 010 – S.

Последние 9 битов группы «Управление» зарезервированы для использования в будущем.

В поле «Адрес сектора», как ясно из его названия, отражается текущий номер данного сектора, исчисляемый с начала дорожки. Этот номер необходим для обеспечения функции поиска нужного фрагмента записи.

Последние 16 битов сектора предназначены для записи остатка от побитного деления данных групп «Управление» и «Адрес сектора» на порождающий полином кода CRCC. В качестве его используется тот же самый полином $G(x) = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$, что и в блоке основных данных.

Данные канала управления так же, как и основные данные, перед записью модулируются. Но для модуляции используется не код HDM-1, а **двухфазная маркированная модуляция Vi-φ-M**. Этот тип модуляции характеризуется обязательной сменой уровня в начале каждого тактового интервала и поэтому обладает хорошей самосинхронизацией [95]. «Единица» здесь кодируется дополнительным изменением уровня в центре тактового интервала, а «нуль» - отсутствием такого изменения (рис. 3.17). Так же, как и в случае кода HDM-1, здесь требуется удвоение тактовой частоты, т.е. $T_k = T/2$.

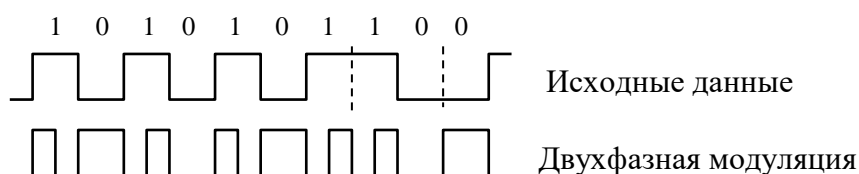


Рис. 3.17. Двухфазная модуляция Vi-φ-M

В качестве синхрогруппы СГ (рис. 3.16) здесь используется кодовая комбинация с нестандартным расстоянием между соседними перепадами уровня $1,5T$ (или $3T_k$), которая не встречается в потоке модулированных данных (рис. 3.18).

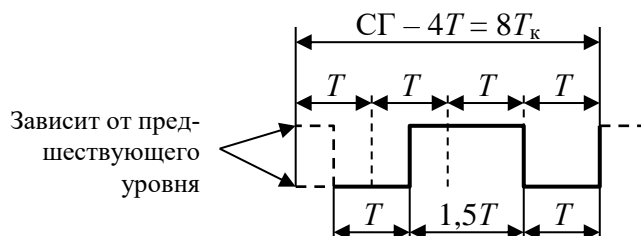


Рис. 3.18. Конфигурация синхрогруппы сектора

3.5. Особенности коррекции ошибок в формате DASH

Коррекция ошибок в формате DASH производится после демодуляции воспроизведенного с ленты сигнала путем выполнения процедур, аналогичных процедурам кодирования, но в обратном порядке.

Вначале производится проверка на наличие ошибок в блоке данных путем вычисления остатка от побитного деления этих данных на порождающий полином $G(x)$ кода CRCC – точно таким же образом, как и при кодировании. Если полученный остаток совпадает с имеющимся в блоке (рассчитанным в процессе кодирования), то ошибок в блоке нет. Если не совпадает, то одно или несколько слов в блоке являются ошибочными. Локализовать и исправить эти ошибочные слова с помощью кода CRCC невозможно. Поэтому все слова в блоке в дальнейшем рассматриваются как ошибочные и отмечаются указателями стирания.

Декодирование кода Q производится после выполнения деперемежения, поэтому все слова из ошибочного блока, отмеченные указателями стирания, окажутся уже в других блоках – не более одного на каждый новый блок. Если выполнить сложение по модулю 2 всех информационных слов, кроме отмеченного указателем стирания, с проверочным словом Q, то результатом такого сложения как раз и будет это самое ошибочное слово. Таким образом, ошибка будет исправлена. Указатель стирания при этом снимается.

Однако может получиться так, что в один и тот же блок попадут два или более ошибочных слов из разных блоков. С помощью кода Q можно исправить только одну ошибку. Поэтому в подобном случае коррекция ошибок производится не будет и указатели стирания останутся без изменения. Ошибочные слова передаются для дальнейшей обработки в декодер P.

Декодирование кода P производится после очередной процедуры деперемежения, и слова, которые не смог исправить декодер Q, и поэтому сохранившие указатели стирания, вновь перераспределяются по разным блокам. Предположительно – не более чем по одному на блок.

Декодирование кода P и коррекция ошибок производится по тем же принципам, что и декодирование кода Q: все слова, кроме ошибочного, складываются по модулю 2 с проверочным словом P. Результатом вычисления будет правильное значение ошибочного слова.

В том случае, если и код P не сможет исправить имеющиеся в блоке ошибки (ошибок окажется больше одной), то отмеченные указателями стирания слова маскируются методом линейной интерполяции. При этом четные слова (отсчеты звукового сигнала) восстанавливаются по соседним нечетным словам, а нечетные - по соседним чет-

ным. Благодаря большой глубине перемерения четные и нечетные отсчеты звукового сигнала находятся на расстоянии нескольких сантиметров друг от друга и их трудно повредить одновременно.

Большинство ошибок носит случайный характер и вызвано микроповреждениями рабочего слоя ленты и пылинками, попавшими между головкой и лентой. Продолжительные пакеты ошибок могут быть результатом загрязнения рабочих зазоров блока головок. Тем не менее такие ошибки и пакеты ошибок легко исправляются кодами СИС. Наиболее сложные ситуации возникают после выполнения механического монтажа, когда половина отсчетов на концах обоих склеиваемых кусков оказываются утраченными, а сами сигналы на них – несогласованными [7]. В этом случае процедура сопряжения (**сглаживающее микширование**) предусматривает восстановление утраченных отсчетов интерполяцией и согласование уровней сигнала путем умножения предшествующего сигнала на коэффициенты, постепенно уменьшающиеся от 1 до 0, последующего сигнала – на коэффициенты, постепенно увеличивающиеся от 0 до 1, и дальнейшее суммирование обоих сигналов (рис. 3.19).

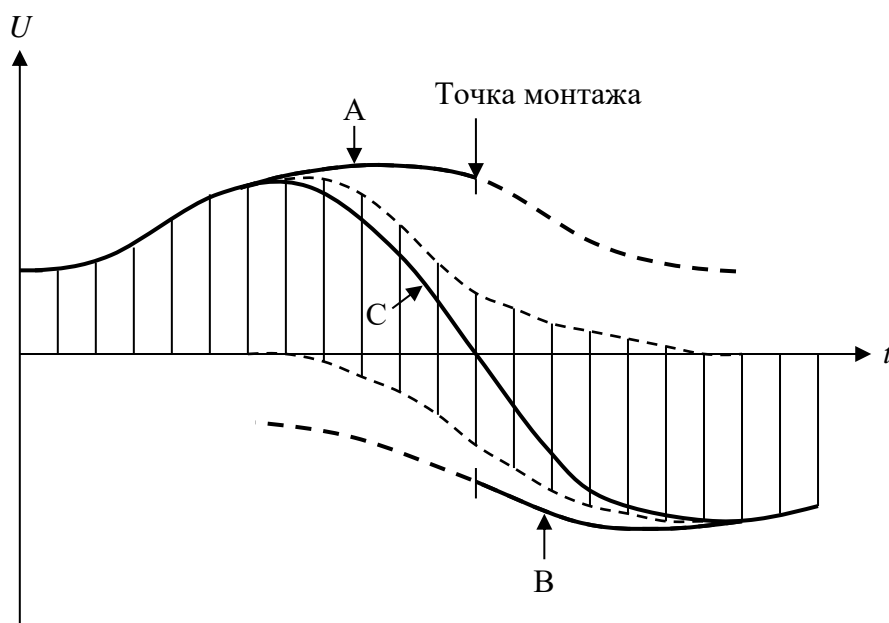


Рис. 3.19. Сглаживающее микширование в месте склейки двух кусков ленты:

A и B – исходные сигналы; C – синтезированный сигнал

Компенсация искажений, вызванных механическим монтажом, не обеспечивает высокого качества сигнала, поскольку в этом случае производится не коррекция ошибок, а только их маскирование. Это

является слабым местом формата DASH. Поэтому впоследствии была разработана его разновидность Twin-DASH, которая позволяет производить полноценную коррекцию ошибок при выполнении механического монтажа. Такая возможность обеспечивается за счет дублирования информации, записываемой на ленте, и размещения ее на большем расстоянии от исходной. При этом осуществляется чередование четных и нечетных отсчетов основного и дублированного сигналов и чередование их по разным дорожкам.

4. МАГНИТОФОНЫ ФОРМАТОВ ADAT И DTRS

Форматы магнитной записи звука ADAT и DTRS являются многоканальными и предназначены для использования исключительно в профессиональной сфере.

Особенностью этих форматов, отличающей их от всех прочих форматов цифровой звукозаписи, является то, что здесь оцифрованный звуковой сигнал записывается на видеоноситель - кассету с магнитной лентой. Предшественниками их являются системы цифровой звукозаписи, состоящие из двух отдельных элементов: обычного серийного видеомагнитофона и специального ИКМ-адаптера, осуществляющего преобразование аналогового звукового сигнала (как правило, двухканального стереофонического) вначале в цифровую форму, а затем в видеосигнал одного из телевизионных форматов - PAL, SECAM или NTSC вместо сигнала строчной развертки. Полученный сигнал подавался на вход видеомагнитофона и записывался на ленту. Воспроизведение записанного звукового сигнала осуществлялось с помощью того же адаптера, который выполнял весь набор обратных преобразований вплоть до аналогового звукового сигнала, который можно было подавать на вход усилителя звуковых частот.

Такие системы были разработаны в конце 60-х годов прошлого века, когда до наступления эры цифрового звука было еще очень далеко, и обеспечивали очень высокое по тем временам качество звучания: динамический диапазон 75 дБ и более, полосу воспроизводимых частот до 20 кГц, коэффициент гармонических искажений порядка сотых и тысячных долей процента и все это при полном отсутствии детонаций. Поэтому предназначались они вначале только для профессиональной работы, и лишь в конце 70-х годов, с появлением относительно недорогих малогабаритных адаптеров, разработанных фирмой SONY (PCM-F1), стали использоваться в потребительской сфере. Однако на потребительском рынке ИКМ-адаптеры особым успехом не пользовались - все-таки комплект из адаптера, видеомагнитофона, усилителя и акустических систем, несмотря на обеспечиваемое с его помощью очень высокое качество звучания, был чересчур громоздким для того, чтобы стать массовым - обычному потребителю больше нравились бесхитростные переносные магнитофоны. Тем более что записать в домашних условиях что-то высококачественное обычный обыватель не мог, а кассеты со студийными записями, тиражированными в заводских условиях, так и не появились.

В профессиональной же сфере системы адаптер-видеомагнитофон хорошо прижились и использовались для записи

аналоговых мастер-лент очень широко - вплоть до начала 90-х годов, когда, наконец, появились магнитофоны форматов ADAT и DTRS, объединившие в одном компактном блоке и адаптер, и видеомагнитофон.

4.1. ADAT

Магнитофоны формата ADAT разработаны фирмой Alesis, что и отражено в аббревиатуре его названия (ADAT - Alesis Digital Audio Tape). Это 8-дорожечные магнитофоны, обеспечивающие запись восьми звуковых каналов на ленту формата S-VHS.

Впервые магнитофон ADAT был продемонстрирован представителям индустрии звукозаписи на конференции AES в 1991 году. При стоимости в 4000\$ это была первая действительно доступная система многоканальной звукозаписи - до этого катушечные многоканальные магнитофоны с аналогичными возможностями стоили сотни тысяч долларов.

Для своих магнитофонов фирма Alesis разработала специальный оптический интерфейс ADI (Alesis Digital Interface), с помощью которого можно по одному оптоволоконному кабелю передавать восемь звуковых каналов с разрешением до 24 разрядов. Этот интерфейс нередко называют ADAT - по названию формата магнитофонов, для которых он предназначен.

На рис. 4.1 показан образец магнитофона формата ADAT - Alesis M-20. Магнитофон обеспечивает запись 8 звуковых каналов с разрешением 16 или 20 бит на частотах дискретизации 44,1 кГц/48 кГц. Имеет функции чтения и генерации временного кода по стандарту SMPTE/EBU. Предусмотрена вспомогательная (девятая) аналоговая дорожка с отдельными аналоговыми XLR-входом и XLR-выходом. Также предусмотрена плата с четырьмя парами декодеров и четырьмя парами кодеров интерфейса формата AES/EBU для приема и передачи звуковых сигналов в цифровой форме [96].

На рис. 4.2 представлена модель Alesis XT20, которая обладает теми же функциональными возможностями, что и M-20, но кроме того, предлагает мощные и удобные в работе функции цифрового редактирования с возможностью определения до десяти точек автолокации.

Для увеличения числа дорожек при записи звуковых программ предусмотрена возможность объединения до шестнадцати аппаратов XT 20 в одну синхронно работающую систему. Это обеспечивает возможность записи до 128 дорожек [97].

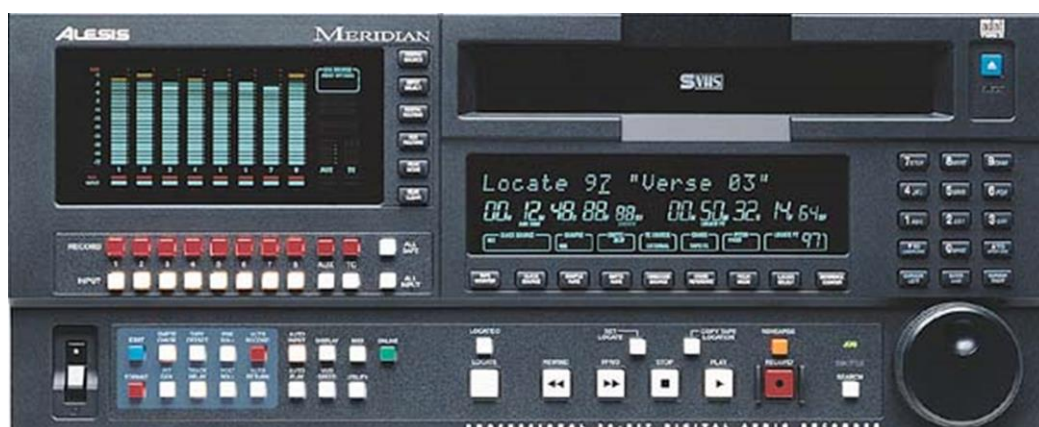


Рис. 4.1. Магнитофон ADAT Alesis M-20



Рис. 4.2. Магнитофон ADAT Alesis XT20

Фирма Alesis предлагает также удешевленную версию магнитофона XT20 - Alesis LX20 (рис. 4.3), который имеет те же технические характеристики, что и его прототип, но обладает несколько меньшим набором функциональных возможностей [98].



Рис. 4.3. Магнитофон ADAT Alesis LX20

К концу первого десятилетия XXI века фирма Alesis совершила качественный технологический скачок - отказалась от пережившей свое время магнитной ленты и перешла на новый носитель - жесткий диск. Первой моделью, в которой вместо привычной ленты S-VHS использовался HDD-накопитель, была модель Alesis HD-24HR (рис. 4.4). Она обеспечивала запись уже не 8 звуковых каналов, а в три раза большего их числа - 24. При этом разрешение также увеличилось - до 24 разрядов при тех же частотах дискретизации 44,1 кГц и 48 кГц. Предусмотрена возможность увеличения частот дискретизации вдвое - до 88,2 кГц и 96 кГц (по желанию заказчика). В качестве носителя используется недорогой сменный жесткий диск типа IDE (10 Гб) - два отдельных порта.

Модель Alesis HD-24HR совместима с ленточными магнитофонами ADAT, при этом она опознается ими как 3 системы ADAT. Модель Alesis HD24HR обеспечивает пользователю возможность выполнения операций выделения, копирования, вставки и перемещения дорожек и сегментов аудиоматериала с функцией отмены, доступ к которым осуществляется с лицевой панели или при помощи блока дистанционного управления, который входит в комплект поставки. Для дополнительной обработки и графического отображения файлов формата AIFF в компьютерных системах на задней панели имеется разъем Ethernet и 24-разрядный оптический интерфейс ADAT.



Рис. 4.4. Магнитофон ADAT Alesis HD-24XR

Магнитофон Alesis HD-24HR может управляться от блока дистанционного управления IRC, входящего в комплект поставки, и командами MIDI Machine Control. Управление транспортным механизмом и редактированием содержимого дорожек возможно от полнофункционального блока дистанционного управления, который в основной комплект поставки не входит и поставляется дополнительно по желанию заказчика [99].

4.2. DTRS

Разработчиком многоканальных магнитофонов формата DTRS (DA-38, DA-78, DA-88, DA-98) является фирма TASCAM. Формат DTRS очень похож на ADAT, только запись здесь осуществляется на видеокассету формата Hi-8, а не S-VHS. Также являются изначально 8-канальными, 16-20 разрядными с частотами дискретизации 44,1 кГц и 48 кГц. Впоследствии число разрядов было увеличено до 24, а частоты дискретизации удвоились (до 88,2 кГц и 96 кГц) и даже учетверились (176,4 кГц и 192 кГц). Для организации передачи цифровых звуковых сигналов здесь используется свой фирменный интерфейс TDIF (TASCAM Digital Interface Format), обеспечивающий одновременную двунаправленную передачу по одному кабелю до 8 каналов цифрового звука (8 каналов передачи и/или 8 каналов приема) в формате до 24 бит/48 кГц и 24 бит/44,1 кГц, а также сигналов синхронизации. Для подключения кабеля используется 25-штырьковый разъем D-sub.

На рис. 4.5 показан магнитофон TASCAM DA-98HR формата DTRS с характеристиками, сходными с Alesis LX20 [100].

На рис. 4.6 показан магнитофон TASCAM DS-D98, обеспечивающий возможность записи 2 звуковых каналов, кодированных по технологии DSD (Direct Stream Digital), используемой при записи дисков SACD (SuperAudioCD). Одноразрядный поток данных DSD при этом подается на вход магнитофона через имеющийся в наличии интерфейс SDIF-3 с разъемами BNC. При воспроизведении DSD используется тот же интерфейс [101].



Рис. 4.5. Магнитофон TASCAM DA-98HR формата DTRS



Рис. 4.6. Магнитофон TASCAM DA-98HR формата DTRS

Магнитофон TASCAM DS-D98, кроме того, обеспечивает запись и 8 звуковых каналов, кодированных с помощью обычной многоразрядной ИКМ. В этом режиме его характеристики совпадают с характеристиками модели DA-98HR.

5. HDD-РЕКОРДЕРЫ

Быстрый рост информационной емкости и повышение надежности жестких магнитных дисков, используемых в компьютерной технике, стали причиной того, что на их основе начали создаваться автономные устройства для записи звука - дисковые магнитофоны или HDD-рекордеры, в англоязычной транскрипции - HDR (Hard Disc Recorder). Такие магнитофоны выпускались различными фирмами еще в 90-х годах XX века, когда емкость жестких дисков перевалила за гигабайт. Вначале дисковые магнитофоны использовались только в профессиональной работе, а затем постепенно переместились и в сферу потребительской электроники.

Основным преимуществом HDD-рекордеров в сравнении с ленточными магнитофонами является возможность быстрого произвольного доступа к любому фрагменту фонограммы, что позволяет выполнять их редактирование, перемещение, копирование, замену одного фрагмента другим, т.е. производить все те действия, которые до этого были доступны только компьютерным рабочим станциям. Ленточные магнитофоны таких удобств предоставить не могут в принципе, поскольку доступ к фрагментам фонограммы всегда связан с необходимостью перемотки ленты, а это требует времени и порой немалого - десятков секунд. С точки зрения работы редактора - это много. Дисковому рекордеру для этого требуется менее 20 миллисекунд.

Преимуществами HDD-рекордеров перед компьютерными звуковыми рабочими станциями являются простота в обращении и сравнительно невысокая стоимость при сопоставимых функциональных возможностях. Конечно, наличие у компьютерной станции графического дисплея и разнообразного программного обеспечения обеспечивает большой набор пользовательских функций, однако, все это очень дорого стоит и требует основательной подготовки персонала. Кроме того, компьютерная станция предполагает только стационарное использование, в то время как HDD-рекордер может быть выполнен и как портативное переносное устройство. К тому же, благодаря своей простоте, HDD-рекордер более надежен в эксплуатации.

5.1. Конструкция HDD-накопителя

Конструктивно HDD-накопитель представляет собой один или несколько дисков (пластин) диаметром 50-350 мм, с обеих сторон покрытых слоем ферромагнетика и закрепленных на одной оси. К каждой стороне диска на специальных вращающихся кронштейнах (ко-

ромыслах) подводятся магнитные головки, с помощью которых и осуществляется запись и считывание данных (рис. 5.1). Кронштейны закреплены на общем подвижном каркасе, поэтому все головки перемещаются одновременно, располагаясь в каждый момент времени на одном и том же расстоянии от оси вращения дисков. Диски изготавливаются либо из сплава алюминия с магнием, либо из стеклокерамики, либо из пластика. Наилучшими характеристиками обладают диски из стеклокерамики - они гораздо более прочные, чем алюминиевые, поэтому их можно делать более тонкими. Кроме того, они менее восприимчивы к колебаниям температуры и при ее повышении во время работы накопителя их размеры изменяются незначительно. В настоящее время большинство фирм-изготовителей выпускают именно стеклокерамические диски, которые, скорее всего, со временем полностью вытеснят диски из сплава алюминия с магнием. Поверхности диска должны быть идеально плоскими и тщательно отполированными.

Кронштейны с головками могут поворачиваться вокруг оси, на которой они закреплены, и головки, размещенные на их концах, могут, таким образом, устанавливаться на любую дорожку диска. Кронштейн слегка подпружинен и его конец с закрепленными головками в отсутствие вращения диска должен соприкасаться с поверхностью диска. Но, тем не менее, при вращении диска контакта головок с поверхностью все-таки не происходит. Объясняется это тем, что концы кронштейнов обладают аэродинамическими свойствами (выполнены в форме крыла самолета) и воздушный поток, возникающий при вращении диска, приподнимает головку над его поверхностью на несколько десятков нанометров. В отсутствие вращения, а также при разгоне диска и в процессе его остановки кронштейны с головками находятся в так называемых «**зонах парковки**», которые располагаются либо за пределами диска, либо вблизи его оси - там, где регистрирующего слоя нет и опасность его повреждения отсутствует. Перевод головок в зону парковки происходит под действием специальной возвратной пружины, закрепленной на блоке кронштейнов. Когда питание компьютера включено, действие магнитных полей подвижной катушки и постоянного магнита механизма привода головок превосходит упругость пружины и головки позиционируются и удерживаются в требуемом положении над поверхностью диска. При выключении питания поле, удерживающее головки над конкретным цилиндром, исчезает, и они под действием возвратной пружины перемещаются в зону парковки, не касаясь поверхности еще до того, как диски остановятся. По мере уменьшения частоты вращения дисков головки с характерным потрескиванием “приземляются” именно в этой зоне. Таким образом, чтобы привести в действие механизм парковки головок, достаточно

просто выключить компьютер. Никакие специальные программы для этого не нужны. В случае внезапного исчезновения питания головки паркуются автоматически.



Рис. 5.1. Компьютерный HDD-накопитель со снятой крышкой

Таким образом, обеспечивается бесконтактность процессов записи и считывания информации, что само по себе является очень важным обстоятельством. Во-первых, отсутствует износ магнитных головок, во-вторых, отсутствуют повреждения магнитного слоя на поверхности диска. Это выгодно отличает дисковые накопители от ленточных магнитофонов.

Поскольку расстояние между головкой и диском при его вращении чрезвычайно мало, то даже очень маленькая частичка, попав в этот промежуток, может повредить регистрирующий магнитный слой диска. Поэтому очень важно еще в процессе изготовления позаботиться о чистоте воздуха внутри накопителя. Чтобы добиться требуемой чистоты, сборку осуществляют в так называемых «чистых» помещениях, оборудованных дорогостоящими системами тонкой очистки

воздуха – в кубическом метре воздуха может быть не более 100 частиц (пылинок) размером более 0,5 мкм.

Внутреннее пространство накопителя тщательно изолируется от внешней среды. Для этого пакет дисков с двигателем и блок головок размещаются в специальном герметичном металлическом корпусе со съемной крышкой, который называется **гермоблоком** или **камерой**. Однако внутренний объем камеры не полностью изолирован от внешней среды – обязательно предусматривается возможность проникновения воздуха снаружи в камеру и наоборот. Это необходимо для выравнивания давления внутри и снаружи камеры и, таким образом, предотвращения деформаций корпуса.

Чтобы обеспечить выравнивание давления и очистку воздуха, поступающего извне, используется так называемый **барометрический фильтр**. Такой фильтр способен задерживать частицы, размер которых превышает величину рабочего зазора между головкой и поверхностью диска. Вентиляционные отверстия барометрического фильтра видны на большинстве гермоблоков, сам же фильтр находится внутри. Так что под герметичностью камеры подразумевается только невозможность проникновения внутрь посторонних частиц, способных при попадании в рабочий зазор повредить рабочую поверхность и головку.

Кроме того, в камере обязательно размещается **фильтр рециркуляции**, предназначенный для улавливания частиц, которые могут появляться внутри самой камеры, например, из-за осыпания поверхности дисков при «взлетах» и «посадках» головок в зоне парковки, или проникать внутрь камеры через барометрический фильтр. Место расположения фильтра рециркуляции выбирается с учетом движения воздушного потока и возможных траекторий движения частиц таким образом, чтобы обеспечить максимальную степень очистки воздушного потока внутри камеры.

Следует заметить, что поскольку величина подъемной силы, удерживающей головки на заданном расстоянии от поверхности диска, определяется плотностью воздуха, которая зависит от атмосферного давления, то применение жестких дисков ограничено максимальной высотой подъема над уровнем моря приблизительно в 2000...3000 м.

5.2. Физическая и логическая структуры HDD-накопителя

Данные на каждый из дисков HDD-накопителя записываются в виде концентрических колец - **дорожек**. Такие дорожки формируются при физическом форматировании жесткого диска, которое, как прави-

ло, выполняется изготовителем. Количество дорожек на каждой поверхности всех дисков одинаково. Нумерация их начинается от края диска. Нумеруются и сами поверхности. Их число, разумеется, в два раза больше числа дисков накопителя. Номер поверхности совпадает с номером головки, производящей запись и считывание информации с этой поверхности. Нумерация дорожек и головок (поверхностей) начинается с 0, т.е. внешняя дорожка и верхняя головка имеют нулевые номера.

Дорожки всех поверхностей с одинаковым номером образуют **цилиндр** (рис. 5.2).

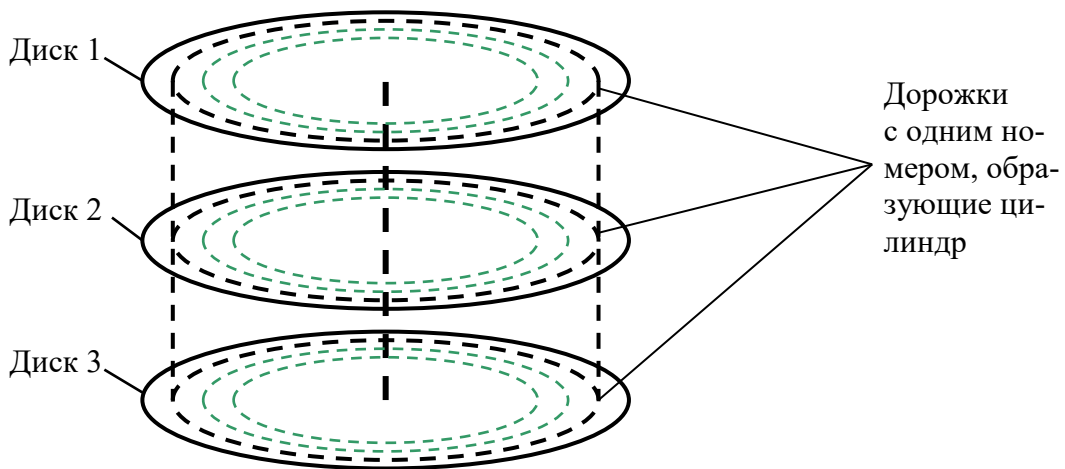


Рис. 5.2. Физическая структура HD-накопителя

Каждая из дорожек разбивается на **секторы**, которые являются минимальными элементами хранения и адресации данных. Размер каждого сектора - 512 байт. Однако еще в 2006 году было объявлено о переходе на размер сектора 4096 байт, который планировалось завершить к 2010 году.

Поскольку дорожки одной и той же поверхности, но расположенные на разных расстояниях от центра, имеют разную длину, то в целях увеличения емкости диска целесообразно увеличивать число секторов на дорожке по мере удаления от центра. Для этого в современных HDD-накопителях дорожки, а вместе с ними и цилиндры, сгруппированы в несколько **зон**. Таких зон на диске может быть от 10 и более. Дорожки одной зоны имеют одинаковое количество секторов. При этом на дорожках внешних зон секторов больше, чем на дорожках внутренних. Обычно на дорожках внутренней зоны - 17 секторов, а по мере удаления от центра число секторов на дорожках одной зоны увеличивается до 63. Секторы на дорожке также пронумерованы, но нумерация их начинается с единицы, а не с нуля, в отличие от головок

и цилиндров. Следует отметить, что реально секторов на каждой дорожке гораздо больше - до 100 и более. Максимальное их количество у современных дисков может достигать 256. Однако «лишние» секторы являются резервными и в начальный период эксплуатации накопителя не используются. Их применение начинается после того, как в каком-либо секторе возникает неисправимая ошибка (дефект). Такой сектор в дальнейшем исключается из процесса работы и заменяется резервным, которому присваивается тот же номер. Таким образом, число «работающих» секторов на дорожке остается прежним.

В каждом секторе, кроме основных данных, содержатся и разного рода служебные данные. В начале каждого сектора располагается заголовок (prefix), который включает в себя идентификатор (ID) сектора, проверочную группу CRC, необходимую для обнаружения ошибок в идентификаторе, и калибровочную последовательность для включения записи основных данных. Идентификатор содержит информацию о номере цилиндра, головки и сектора. После заголовка следуют 512 байт основных данных. В конце сектора размещается его заключительная часть (suffix), которая представляет собой проверочную группу CRC (checksum), необходимую для обнаружения ошибок в основных данных сектора, и выводную последовательность, которая необходима для того, чтобы создать защитный интервал между соседними секторами. В результате каждый сектор вместе со служебными данными содержит 571 байт [102].

Разметка дисков на дорожки, секторы и цилиндры выполняется при их **физическом форматировании (форматировании низкого уровня)** на заводе-изготовителе. Для этого используются специальные программные средства, например, Speed Store, Disk Manager или команды DOS.

После физического форматирования выполняется **логическое форматирование** или **форматирование высокого уровня**, в процессе которого на диске устанавливается **файловая система**, обеспечивающая возможность операционной системе устройства использовать дисковое пространство для записи данных и их чтения. Файловая система содержит в себе различные загрузочные данные, **таблицу размещения файлов (FAT - File Allocation Table)**, корневой каталог диска и данные, используемые для диагностики.

Логическая структура должна быть совместима с используемой в устройстве (компьютере или дисковом магнитофоне) операционной системой. Минимальной логической единицей доступа к информации на диске является **кластер (allocation unit)**. Каждый кластер состоит из нескольких секторов (8, 16 или другое большее число, являющееся степенью 2). Кластеры пронумерованы, но номера их соответствуют

не порядковому расположению на дисках, а порядку расположения в пределах одного цилиндра. В процессе записи данных на диск, прежде всего, используются сектора, которые на данный момент находятся под всеми головками, т.е. секторы, расположенные на дорожках одного цилиндра, и переход к следующему цилиндру производится только после того, как будут записаны все сектора текущего. Это делается для того, чтобы процедура записи (равно как и процедура считывания) включала в себя как можно меньше операций перемещения головок. Кластер считается свободным, если никакая запись в него не производилась, и занятым, если в него записан хотя бы один байт информации. Поэтому даже файл размером всего в несколько байт требует для своего хранения целого кластера. В результате, довольно значительная часть дискового пространства не используется. И чем больше размер кластера, тем большими могут быть потери. Однако, с другой стороны, использование кластеров позволяет ускорить работу устройства, поскольку количество кластеров существенно меньше количества секторов.

Основной частью файловой системы является таблица размещения файлов (FAT). В ней содержатся записи с номерами кластеров и отметками, характеризующими состояние этих кластеров. Таких состояний может быть пять:

- кластер свободен;
- кластер занят файлом и не является последним кластером файла (в этом случае в ячейке указан номер следующего кластера файла);
- кластер является последним кластером файла;
- кластер поврежден;
- кластер зарезервирован.

Существуют три версии FAT – FAT12, FAT16 и FAT32. Они отличаются разрядностью записей в ячейке - 12, 16 или 32 бита, что определяет размер кластера. Версия FAT12 в жестких дисках не используется, она была разработана для дискет. FAT16 используется в накопителях небольшого объема, поскольку в этом случае на логическом диске не может быть более 65536 кластеров: $2^{16} = 65536$. В современных накопителях большого объема используется версия FAT32.

Как и в любой другой системе записи цифровой информации, для защиты данных от ошибок здесь используется двойной код Рида-Соломона с перекрестным перемежением. Перед записью поток данных модулируется канальным кодом, скорость которого $R = 0,5$, коэффициент повышения плотности записи $K = 1,5$, минимальная длина пробега $T_{min} = 3$, максимальная длина пробега $T_{max} = 8$, минимальное количество «нулей» между двумя соседними «единицами» $d = 2$, мак-

симальное количество «нулей» между двумя соседними «единицами» $k = 7$ (отсюда его обозначение - [2,7]).

5.3. Магнитные головки для записи информации на жесткий диск

Запись и считывание данных с появившихся еще в 70-х годах XX века оксидных дисков осуществлялось с помощью миниатюрной ферритовой головки индукционного типа. Вначале это были **монолитные головки**. Однако сложность обработки хрупкого феррита не позволяла получать изделия достаточно миниатюрных размеров и вскоре от монолитных головок отказались в пользу так называемых композитных головок.

Композитные головки выполнены из феррита на подложке из стекла или твердой керамики и имеют меньшие размеры в сравнении с монолитными. Ширина сердечника и магнитного зазора стеклоферритовых головок также гораздо меньше, чем у монолитных, что обеспечивает возможность увеличения плотности записи и снижения их чувствительности к внешним магнитным полям. Миниатюрные размеры таких головок и их малый вес позволили уменьшить зазор между головкой и поверхностью диска и, как следствие, повысить плотность записи на диск.

Дальнейшим развитием технологии композитных головок стали так называемые **головки MIG-типа** (MIG - Metal In Gap). При их производстве на поверхности ферритовых полусердечников, образующих рабочий зазор, наносится тонкий (1,5...2,0 мкм) слой сендаста или альфенола, обладающих высокими значениями индукции насыщения (сендаст - 12000 Гс, альфенол - 18000 Гс, феррит - 3000 Гс). По этой причине головки MIG-типа можно использовать для записи на носители с большой коэрцитивной силой и, таким образом, значительно увеличить плотность записи.

Благодаря своим преимуществам головки MIG-типа полностью заменили традиционные стеклоферритовые головки в высококачественных накопителях.

К началу 80-х годов была разработана технология изготовления **тонкопленочных головок** (TF - Thin Film), которые гораздо меньше ферритовых по размерам и обладают лучшими рабочими характеристиками.

Тонкопленочные головки изготавливаются методом фотолитографии, т.е. по той же самой технологии, что и интегральные схемы. В процессе производства на одной подложке формируют сразу несколько тысяч головок, после чего подложку разрезают на отдельные фраг-

менты, которые и используют в качестве головок. В результате головки получаются миниатюрными и очень легкими.

Магнитный сердечник головки формируется на поверхности керамической подложки методом электроосаждения сплава железа и никеля вокруг тонкой немагнитной пленки из алюминиевого сплава, что позволяет создавать головки с очень малым рабочим зазором. Алюминий в рабочем зазоре хорошо защищает его от повреждений (сколов краев) при случайных контактах с диском. Тонкопленочные головки обеспечивают высокую плотность записи и позволяют уменьшить ширину и шаг дорожек.

Небольшой вес и малые размеры позволяют значительно уменьшить расстояние между головками и поверхностями дисков в сравнении с ферритовыми и MIG-головками (0,05 мкм). В результате, повышается остаточная намагниченность участков поверхности носителя и увеличивается как амплитуда считанного сигнала, так и отношение "сигнал-шум". Благодаря небольшой высоте тонкопленочных головок при тех же размерах корпуса накопителя удастся установить в него большее количество дисков. Усовершенствования технологии производства привели к снижению стоимости тонкопленочных головок, которая стала сопоставимой с ценой ферритовых головок и головок с металлом в зазоре (и к их более широкому распространению).

В начале 90-х годов были разработаны головки, принцип действия которых основан на **магниторезистивном эффекте**. Эффект этот состоит в том, что при движении головки над участками регистрирующего слоя с разными значениями остаточной намагниченности сопротивление чувствительного слоя оказывается различным.

Таким образом, в отличие от индуктивных головок магниторезистивные головки восприимчивы не к изменениям намагниченности регистрирующего слоя, а к ее абсолютным значениям. Конструкция магниторезистивной головки предполагает наличие дополнительного подмагничивающего слоя, который должен обеспечивать наличие определенного уровня собственной намагниченности чувствительного слоя в отсутствие внешнего магнитного поля. Амплитуда выходного сигнала у магниторезистивных головок, по крайней мере, в несколько раз больше, чем у тонкопленочных, что позволяет использовать их для считывания информации, записанной с гораздо более высокой плотностью.

Однако есть у магниторезистивных головок и существенный недостаток - с их помощью нельзя производить запись. Они могут использоваться только для считывания данных. Поэтому для того, чтобы обеспечить возможность записи, в паре с магниторезистивными головками пришлось использовать все те же тонкопленочные индуктив-

ные головки. Конструктивно обе головки (записывающая и считывающая) объединены в один узел (рис. 5.3).

Первыми появились простые однослойные **магниторезистивные** или **MR-головки** (MR - Magneto-Resistive), сопротивление которых изменяется в зависимости от напряженности поля, формируемого магнитограммой дорожки. Однако сопротивление таких головок способно изменяться не более чем на 10%.

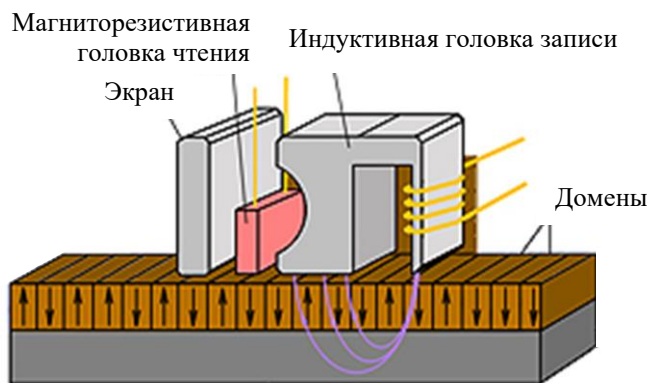


Рис. 5.3. Комбинированная магнитная головка

Работы над магниторезистивными головками продолжались, и к 1997 году фирмой IBM был разработан и доведен до производства многослойный чувствительный элемент (сенсор) магниторезистивной головки, сопротивление которого может изменяться на 100%. Головка на его основе была названа **GMR-головкой** (GMR - Giant Magneto-Resistive -**сверхмагниторезистивная**). Амплитуда сигнала, формируемого магниторезистивными MR и GMR-головками, в отличие от обычных ферритовых и тонкопленочных головок, не зависит от скорости изменения магнитного поля, т.е. скорости считывания данных, что упрощает процесс обработки воспроизведенного сигнала и позволяет на порядок снизить количество ошибок при считывании информации с диска, а также обеспечивает возможность значительного повышения плотности записи.

GMR-сенсор состоит из четырех слоев (рис. 5.4):

- **чувствительного** (sensing layer) или **свободного** (free layer) слоя, который выполняется из ферромагнетика (различные сплавы железа, никеля и кобальта) - в нем носители заряда могут свободно менять свою ориентацию;
- **проводящего** слоя (conducting spacer), изготовленного из немагнитного материала; как правило, это тончайшая медная пленка толщиной в несколько атомов; этот слой необходим для уменьшения взаимного магнитного влияния соседних слоев;

- **фиксирующего** (pinned layer) кобальтового слоя; магнитная ориентация этого слоя постоянная;
- **обменного** (exchange layer) слоя, изготовленного из **антиферромагнетика**, т.е. вещества (например IrMn), носители магнетизма которого (ионы кристаллической решетки) имеют одинаковые, но противоположно направленные по отношению к ближайшим соседним носителям, магнитные моменты.

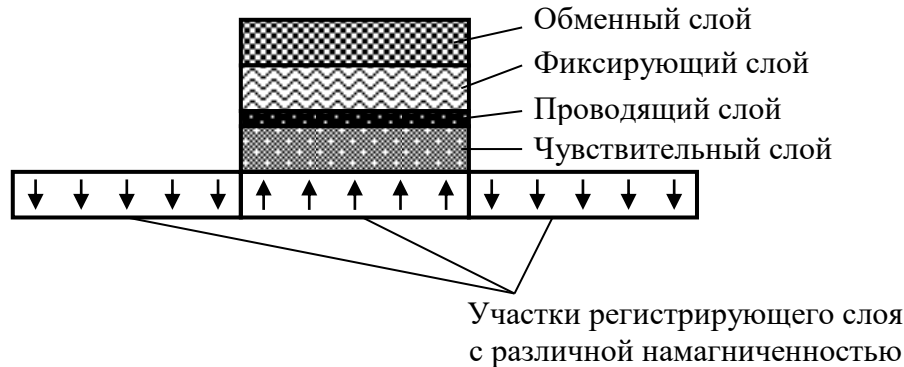


Рис. 5.4. Структура GMR-сенсора

Направление магнитного поля внутри фиксирующего слоя всегда остается одним и тем же - это обеспечивается за счет наличия обменного слоя, намагниченность которого равна нулю, образуя так называемую **доменную стенку**. А вот в чувствительном слое направление магнитного поля изменяется в зависимости от направления внешнего магнитного поля. Это в свою очередь приводит к изменению общего сопротивления чувствительного и фиксирующего слоев.

Причиной такого изменения является физическое проявление одной из квантовых характеристик электрона, а именно - **спина**. **Спин** (от англ. *spin* - вертеть[-ся]) - собственный момент импульса элементарных частиц, имеющий квантовую природу и не связанный с перемещением частицы как целого. Существование спина в системе тождественных взаимодействующих частиц является причиной новых квантовомеханических явлений, не имеющих аналогии в классической механике: обменного взаимодействия и обменной энергии. Любая частица может обладать двумя видами углового момента: орбитальным угловым моментом и спином. В отличие от орбитального углового момента, который порождается движением частицы в пространстве, спин не связан с движением в пространстве. Спин - это внутренняя, исключительно квантовая характеристика, которая в рамках классической релятивистской механики объяснению не поддается. А поскольку на современном уровне развития науки объяснить механизм воз-

никновения спина невозможно, приходится ограничиваться только изучением физического проявления его свойств.

Несмотря на то, что спин не связан с реальным вращением частицы, он, тем не менее, порождает определённый магнитный момент, а значит, приводит к дополнительному (по сравнению с классической электродинамикой) взаимодействию с магнитным полем.

Спиновый магнитный момент электронов (в дальнейшем - просто спин) может иметь только два взаимно противоположных направления. Электроны проводимости со спином, направление которого совпадает с направлением магнитного поля внутри GMR-среды, испытывают меньшее сопротивление при движении и свободно перемещаются внутри чувствительного и фиксирующего слоев. Если направления магнитных полей в чувствительном и фиксирующем слоях противоположны друг другу, то движение электронов со спином вверх будет сдерживаться одним из этих двух слоев, а со спином вниз - другим, вследствие чего общее сопротивление чувствительного и фиксирующего слоев возрастает. В первом случае электрическое сопротивление среды будет меньше, чем во втором (рис. 5.5). Этот эффект и используется в работе GMR-сенсора, который по своей физической сущности является **спиновым вентилем (спиновым диодом)**.

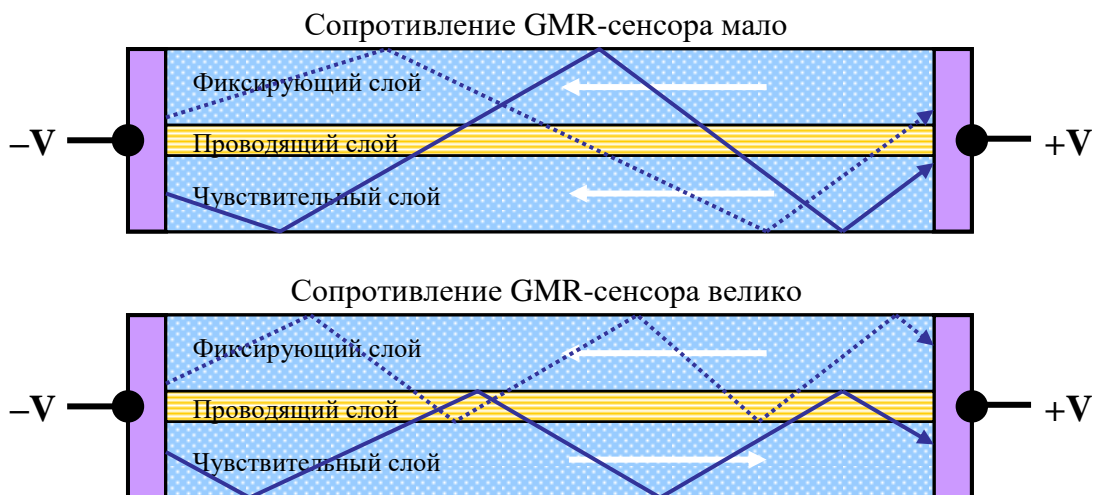


Рис. 5.5. Принцип работы GMR-сенсора

Следует отметить, что сопротивление чувствительного слоя GMR-сенсора изменяется также и вследствие MR-эффекта, однако доминирует в этом случае GMR-эффект.

GMR-сенсор - изделие весьма миниатюрное, толщина каждого из слоев (кроме немагнитного проводящего) - порядка 10 нм, а общая

толщина четырехслойного датчика - порядка 30 нм. Ширина считывающего элемента - 0,3-0,5 мкм [103].

5.4. Технологии записи на магнитные диски

5.4.1. Продольная запись

В первых образцах жестких дисков, появившихся в 70-х годах XX века, использовалась технология продольной записи информации. Для этого поверхность диска, так же как и поверхность магнитной ленты, покрывалась слоем двуокиси хрома CrO_2 или оксидом железа, обеспечивающим продольную намагниченность регистрирующего слоя. Коэрцитивная сила такого носителя $H_c = 28$ кА/м.

Технология нанесения оксидного слоя довольно сложная. Сначала на поверхность быстро вращающегося алюминиевого диска методом напыления наносится суспензия из смеси порошка оксида железа и расплавленного полимера. За счет действия центробежных сил она равномерно распределяется по поверхности диска от его центра к внешнему краю. После полимеризации раствора поверхность шлифуется, и на нее наносится еще один слой чистого полимера, обладающего достаточной прочностью и низким коэффициентом трения. Затем диск окончательно полируется. Диски накопителей такого типа имеют коричневый или желтый цвет.

Как известно, магнитные материалы имеют доменную структуру, т.е. состоят из отдельных микроскопических областей - **доменов**, внутри которых магнитные моменты всех атомов направлены в одну сторону. В результате каждый такой домен имеет достаточно большой суммарный магнитный момент. Домены магнитных материалов, используемых в продольной записи, располагаются параллельно поверхности носителя. Если на магнитный материал не воздействует внешнее магнитное поле, ориентация магнитных моментов отдельных доменов имеет хаотичный характер и любое их направление равновероятно. Если же такой материал поместить во внешнее магнитное поле, то магнитные моменты доменов будут стремиться сориентироваться в направлении, совпадающем с направлением внешнего магнитного поля. Этот эффект и используется при записи цифровых данных магнитным полем головки, изменяющимся в соответствии с сигналом информации.

Минимальным элементом (ячейкой) памяти магнитного регистрирующего слоя, способным хранить один бит информации, является не отдельный домен, а частица (область), состоящая из нескольких десятков доменов (70-100). Если направление суммарного магнитного момента такой частицы совпадает с направлением движения магнит-

ной головки, то такое ее состояние можно сопоставить с логическим «0» данных, если направления противоположны, – с логической «1».

Однако если соседние области имеют противоположное направление магнитных моментов, то домены, расположенные на границе между ними и соприкасающиеся одноименными полюсами, будут отталкиваться друг от друга и в конце концов изменят направления своих магнитных моментов каким-то непредсказуемым образом с тем, чтобы принять энергетически более устойчивое положение. В результате, на границе двух областей образуется зона неопределенности, уменьшающая размеры области, хранящей бит записанной информации и, соответственно, уровень полезного сигнала при считывании (рис. 5.6). Уровень шумов при этом, разумеется, увеличивается.

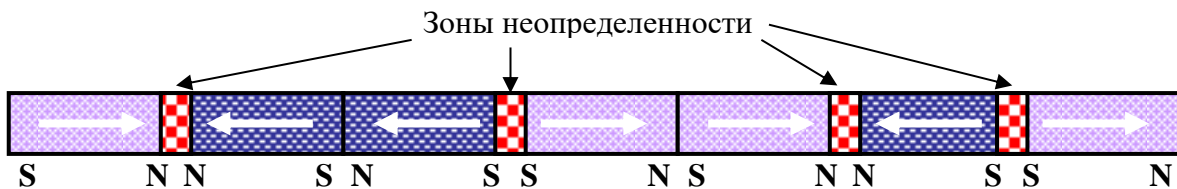


Рис. 5.6. Зоны неопределенности, возникающие при продольной записи

Попытки увеличить поверхностную плотность записи путем уменьшения размеров частиц будут увеличивать отношение размера зоны неопределенности к размеру полезной зоны не в пользу последней и, в конце концов, неизбежно приведут к так называемому **суперпарамагнитному эффекту**, когда частицы перейдут в **однодоменное состояние** и будут уже не способны фиксировать записываемую информацию, поскольку соседние домены с противоположно направленными магнитными моментами будут изменять свою ориентацию сразу же после удаления магнитного поля записывающей головки. Материал регистрирующего слоя превратится в равномерно намагниченный по всему объему.

Таким образом, из-за наличия суперпарамагнетизма технология продольной записи, достигнув к середине первого десятилетия XXI века величины плотности записи в 120 Гбит на дюйм², практически исчерпала свои возможности и уже не в состоянии обеспечивать существенное повышение емкости накопителей на жестких дисках. Это заставило разработчиков обратиться к другим технологиям, свободным от этого недостатка.

5.4.2. Перпендикулярная запись

Возможность перпендикулярной записи основана на том, что в тонких пленках, содержащих кобальт, платину и некоторые другие вещества, атомы этих веществ стремятся ориентироваться таким образом, что их магнитные оси оказываются перпендикулярными поверхности носителя. Домены, сформированные из таких атомов, также располагаются перпендикулярно поверхности носителя.

Сигнал в считывающей магнитной головке формируется только тогда, когда она пересекает силовые линии магнитного поля домена, т.е. в том месте, где эти силовые линии перпендикулярны поверхности носителя. У домена, расположенного параллельно поверхности носителя, силовые линии магнитного поля перпендикулярны поверхности только у его концов, там, где они выходят на поверхность (рис. 5.7,а). Когда головка перемещается параллельно домену и, следовательно, параллельно его силовым линиям, сигнал в ней отсутствует. Уменьшать длину домена, стремясь повысить плотность записи, можно только до определенных пределов - пока не начнет сказываться суперпарамагнитный эффект. Если же домены располагаются перпендикулярно поверхности носителя, то силовые линии их магнитных полей всегда будут перпендикулярны поверхности и содержать в себе информацию (рис. 5.7,б). «Холостых» пробегов, обусловленных длиной домена, здесь уже не будет. Явление суперпарамагнетизма в этом случае не проявляется, поскольку домены с противоположной намагниченностью перестанут отталкиваться друг от друга. Очевидно, что на носителе с перпендикулярной намагниченностью можно получить более высокую плотность записи.

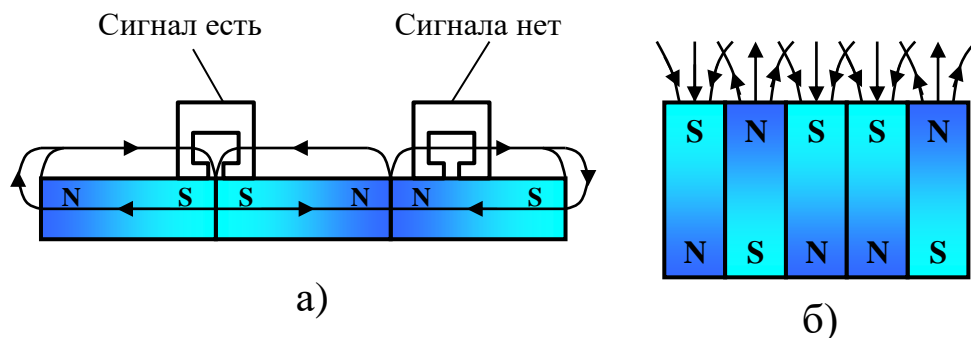


Рис. 5.7. Носители с параллельной (а) и перпендикулярной (б) намагниченностью

Диск, предназначенный для перпендикулярной записи, требует особой технологии изготовления. Основа пластины тщательно полируется, а затем методом вакуумного напыления на ее поверхность наносится выравнивающий слой фосфата никеля NiP толщиной порядка 10 мкм, который, во-первых, уменьшает шероховатость поверх-

ности, во-вторых, увеличивает адгезию к последующим слоям (рис. 5.8).

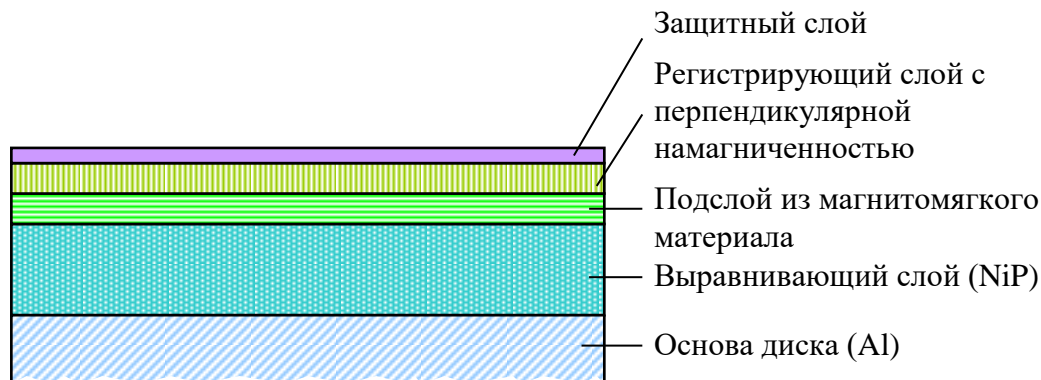


Рис. 5.8. Структура жесткого диска с перпендикулярной намагниченностью

Далее наносится слой магнитомягкого материала, обеспечивающий возможность считывания данных с регистрирующего слоя, и сам регистрирующий слой из материала с перпендикулярной ориентацией магнитных доменов. В качестве регистрирующего слоя может использоваться кобальт (Co), платина (Pt), палладий (Pd), их сплавы друг с другом и с хромом (Cr), а также многослойные структуры, состоящие из тонких пленок этих металлов толщиной в несколько атомов.

Поверх регистрирующего слоя наносится защитная пленка из стеклокерамики толщиной порядка сотых долей микрона.

Запись информации на регистрирующий слой с перпендикулярной намагниченностью имеет свои особенности. Для того чтобы обеспечить приемлемый уровень сигнала и обеспечить хорошее отношение сигнал/шум, силовые линии магнитного поля, формируемого головкой записи, должны, проходя через регистрирующий слой, вновь замыкаться на сердечник головки. Для этого и служит магнитомягкий подслой, расположенный ниже регистрирующего (рис. 5.9).

По предварительным прогнозам специалистов технология перпендикулярной записи позволит реализовать плотность записи до 500 Гбит/дюйм². При этом емкость 3,5-дюймового накопителя составит 2 Тбайта, 2,5-дюймового - 640 Гбайт, 1-дюймового - 50 Гбайт. Однако это только предварительные прогнозы. Не исключено, что верхним пределом окажется величина в 1 Тбит/дюйм² и даже больше. Будущее покажет.

5.4.3. Перспективные технологии магнитной записи

Технология перпендикулярной записи в настоящее время находится в стадии активного развития и до предельных значений плотности записи здесь пока еще далеко. Однако этот момент когда-нибудь все-таки настанет. Может быть даже раньше, чем сейчас представляется. Поэтому исследования в направлении поиска новых высокоэффективных технологий магнитной записи ведутся уже сейчас.

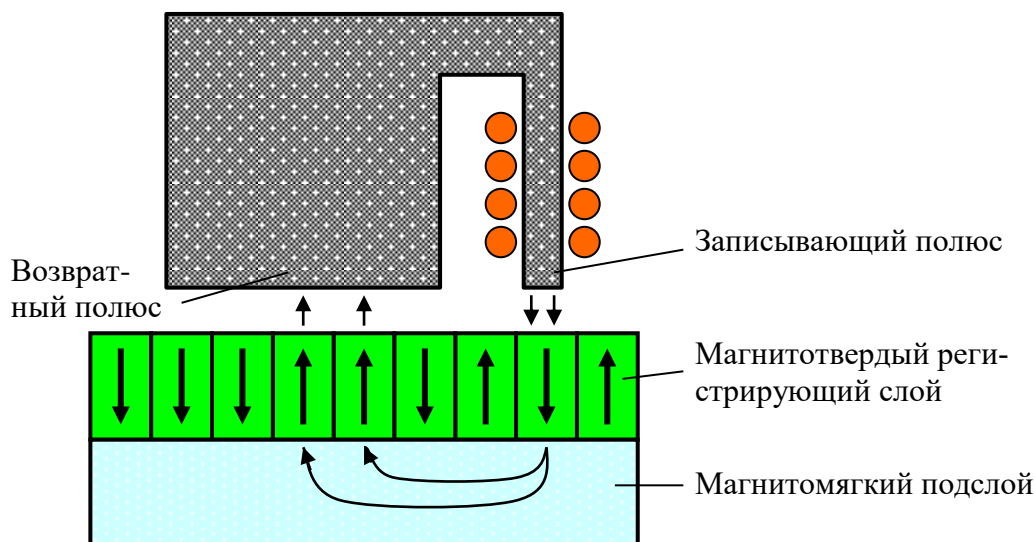


Рис. 5.9. Запись на материал с перпендикулярной намагниченностью

Одной из таких технологий является термомагнитная запись **HAMR (Heat Assisted Magnetic Recording)**, т.е. запись с предварительным нагревом носителя. Этот метод предусматривает кратковременный (1 пикосекунда) нагрев участка носителя, на который производится запись, сфокусированным лучом лазера - так же, как в магнитооптической записи. Разница между технологиями проявляется в способе чтения информации с диска. В магнитооптических приводах информация считывается лучом лазера, работающего на меньшей, чем при записи, мощности, а при термомагнитной записи информация считывается магнитной головкой так же, как с обычного жесткого диска. Да и плотность записи здесь планируется получить гораздо более высокую, чем в магнитооптических форматах MD, CD-MO или DVD-MO - до 10 Тбит/дюйм². Поэтому в качестве регистрирующей среды здесь необходимы иные материалы. Сейчас в качестве таких материалов рассматриваются различные соединения платины, кобальта, неодима, самария и некоторых других элементов: Fe₁₄Nd₂B, CoPt, FePt, Co₅Sm и пр. Такие материалы очень дороги - как из-за дорого-

визны входящих в их состав редкоземельных элементов, так и из-за сложности и дороговизны технологического процесса по их получению и нанесению на поверхность основы предполагаемого носителя. Конструкция головки записи/считывания в технологии HAMR также предполагается совсем иная, чем в магнитооптической записи: лазер должен располагаться с той же стороны, что и магнитная головка, а не с противоположной, как в магнитооптических рекордерах (рис. 5.10). Нагрев предполагается производить до температуры порядка 100 градусов Цельсия, а не 180.

Еще одним перспективным направлением развития магнитной записи является использование в качестве регистрирующего слоя материалов, частицы в которых выстроены в четко структурированный доменный массив (**Bit Patterned Media**). При такой структуре каждый бит информации будет храниться всего в одной ячейке-домене, а не в массиве из 70-100 доменов (рис. 5.11).

Такой материал можно либо создать искусственно с помощью фотолитографии (рис. 5.12), либо найти сплав с подходящей самоорганизующейся структурой.

Первый метод вряд ли получит развитие, поскольку для получения материала, допускающего плотность записи хотя бы 1 Тбит/дюйм², размер одной частицы должен составить максимум 12,5 нм. Ни существующая, ни планируемая в ближайшие 10 лет технология литографии этого не обеспечивает. Хотя есть довольно хитроумные решения, позволяющие не сбрасывать со счетов данный подход.

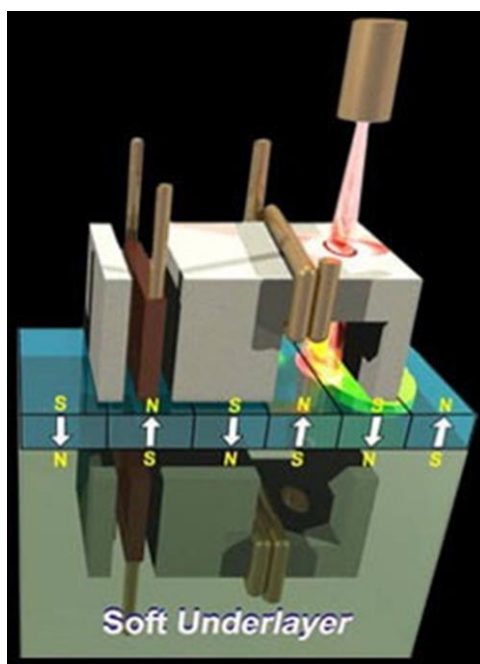


Рис. 5.10. Магнитооптическая головка HAMR

Поиск самоорганизующихся магнитных материалов (**SOMA - Self-Ordered Magnetic Array**) – весьма перспективное направление. Уже несколько лет специалисты компании Seagate указывают на особенности сплава FePt, выпариваемого в гексановом растворителе. Полученный материал имеет идеально ровную ячеистую структуру. Размер одной ячейки – 2,4 нм. Если учесть, что каждый домен обладает высокой стабильностью, можно говорить о допустимой плотности записи на уровне 40-50 Тбит/дюйм²! Похоже, это и есть окончательный предел записи на магнитные носители [104].

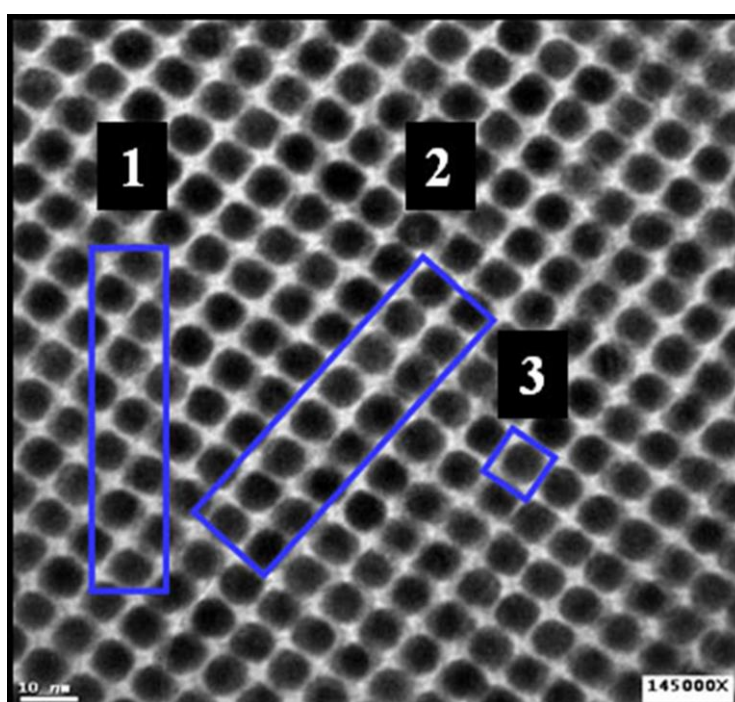


Рис. 5.11. Микроструктура ВРМ: 1 - область, соответствующая одному биту информации при обычной записи; 2 - массив, границы которого совпадают с границами доменов; 3 - домен, который способен хранить один бит данных

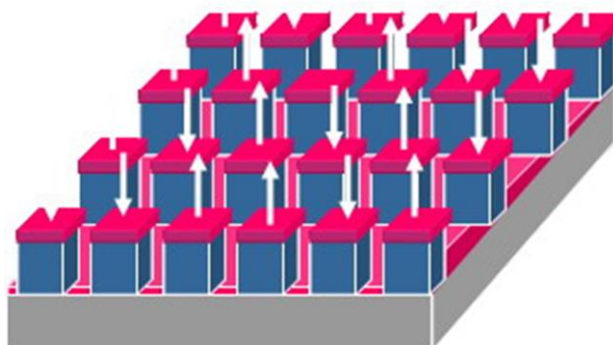


Рис. 5.12. Регистрирующий слой, полученный с помощью фотолитографии

5.5. Особенности HDD-рекордеров

Современные HDD-рекордеры отличаются большой емкостью накопителя, а также широким набором функциональных возможностей. Прежде всего, это разнообразные монтажные функции: вырезать, копировать, вставить, удалить, автоматический поиск нужного фрагмента записи, вставка без монтажных переходов, временной сдвиг отдельных дорожек или всех сразу и пр. Во многих моделях предусмотрена возможность программного изменения конфигурации и состава внутренних блоков и подключаемого оборудования, что позволяет избежать быстрого морального старения аппаратуры.

Характерным примером HDD-рекордера может служить модель D2424LV фирмы FOSTEX, показанная на рис. 5.13.



Рис. 5.13. HDD-рекордер FOSTEX D2424LV

Рекордер обеспечивает запись 24 звуковых каналов с разрешением 24бит/96 кГц. Кроме того, возможна организация еще 32 дополнительных «виртуальных дорожек» с тем же разрешением. Всего, таким образом, может быть организовано 56 звуковых дорожек.

Кроме основного формата 24 бита/96 кГц, запись может быть выполнена еще в 5 форматах: 24 бит/88,2 кГц, 16 бит/44,1 кГц, 16 бит/48 кГц, 24 бит/44,1 кГц и 24 бит/48 кГц. Может быть выполнен экспорт и импорт файлов в формате WAV.

Для преобразования аналогового звукового сигнала в цифровой и цифрового в аналоговый используются 24-разрядные сигма-дельта

преобразователи и 128-кратная передискретизация, что позволяет получить очень высокое качество звукового сигнала.

Рекордер имеет два отсека для дисководов, емкость которых выбирает сам пользователь. При этом второй отсек может использоваться как для установки дополнительного жесткого диска, так и для дисковода DVD-RAM.

Предусмотрены 3 входных/выходных разъема для интерфейсов ADI (ADAT) для организации одновременной записи 24 каналов. Возможна организация выходов в формате S/PDIF (путем переключения). Для всех аналоговых входов/выходов предусмотрены гнезда TRS с возможностью выбора типа сигнала: симметричный/несимметричный (опорный уровень 12 дБ/-20 дБ). Четыре входа AES/EBU и четыре выхода AES/EBU для 8-дорожечной одновременной записи в формате 24 бит/96 кГц и соединения с профессиональным студийным оборудованием. Обеспечивается запись временного кода [105].

Лицевая панель устройства является съемной, что позволяет работать с ней как с клавиатурой компьютера. Она может использоваться как устройство дистанционного управления на расстоянии до 10 метров от записывающего устройства (рис. 5.14). Связь лицевой панели с рекордером обеспечивается через интерфейс RS422.

Благодаря наличию графического дисплея можно визуально наблюдать характеристики аудиосигналов.



Рис. 5.14. Рекордер FOSTEX D2424LV со снятой лицевой панелью

Кроме того, рекордер FOSTEX D2424LV обладает обширнейшим набором монтажных функций и благодаря понятному и компактному интерфейсу, обеспечивающему доступ ко всему набору этих функций, является предельно простым в использовании.

Показанный на рис. 5.15 портативный HDD-рекордер MR-1000 фирмы KORG предназначен для выполнения репортажных записей. Имеет встроенный жесткий диск емкостью 40 Гб и обеспечивает запись звуковых сигналов в виде одноканального потока DSD с частотой дискретизации 5,6 МГц. В комплект рекордера входит программное обеспечение для преобразования одноканального потока данных в любой из ИКМ-форматов вплоть до 24 бит/192 кГц. Имеет гнезда XLR и 1/4" для подключения микрофонов и встроенный микрофонный усилитель, фантомное питание, лимитер. Оперативный обмен информацией с компьютером обеспечивается с помощью высокоскоростной шины USB. Питание MR-1000 может осуществляться как от сети переменного тока, так и от батареек или литиевых аккумуляторов [106].



Рис. 5.15. HDD-рекордер фирмы KORG MR-1000

6. SSD-НАКОПИТЕЛИ

6.1. Общая характеристика и история появления

Твердотельный накопитель или **SSD-накопитель** (от английского **Solid State Drive** или **Solid State Disk**) — это энергонезависимое перезаписываемое запоминающее устройство, не имеющее движущихся механических частей. Часто SSD-накопители по привычке называют твердотельными дисками, хотя никаких дисков это устройство, разумеется, не содержит. Такое название связано, скорее всего, с тем, что модули SSD выполняются в том же форм-факторе, что и жесткие диски — для того чтобы можно было легко заменить один на другой.

Существуют два типа твердотельных накопителей, энергозависимые на базе ячеек **RAM SSD** (RAM – Random Access Memory – память с произвольным доступом) и энергонезависимые **flash SSD**, которые, по сути, являются разновидностью перезаписываемого постоянного запоминающего устройства (ППЗУ).

RAM SSD, построенные на использовании энергозависимых ячеек памяти (таких же, как в обычных статических ОЗУ), характеризуются сверхбыстрым чтением, записью и поиском информации. Основным их недостатком является чрезвычайно высокая стоимость (от 80 до 800 долларов США за гигабайт). Используются, в основном, для ускорения работы крупных систем управления базами данных и мощных графических станций. Такие накопители, как правило, приходится оснащать аккумуляторами для сохранения данных при потере питания, а более дорогие модели — системами резервного и/или оперативного копирования.

Наибольший интерес представляют, безусловно, энергонезависимые flash-накопители, поскольку в перспективе именно они должны заменить широко распространенные сейчас в компьютерной технике жесткие диски. Более того, этот процесс уже начался, хотя пока SSD-накопители используются только в некоторых моделях переносных устройств — ноутбуках, смартфонах и коммуникаторах, а также в спе-

циализированных вычислительных системах. Твердотельные накопители также используются на Международной космической станции.

Несмотря на то, что SSD-накопители являются новейшим типом носителя информации, первые накопители подобного рода (на ферритовых сердечниках) были созданы ещё в эпоху ламповых вычислительных машин и с успехом в них использовались. Однако с появлением барабанных, а затем и дисковых накопителей вышли из употребления из-за чрезвычайно высокой стоимости [107].

Следующей вехой на пути к современным твердотельным накопителям можно считать создание в 1978 году компанией StorageTek первого образца RAM-памяти.

В 1982 году компания Cray представила образцы твердотельных накопителей на основе RAM-памяти объемом 8, 16 или 32 миллиона 64-разрядных слов, которые использовались ею в своих суперкомпьютерах Cray-1 и Cray X-MP.

Первый образец твердотельного накопителя на основе flash-памяти появился в 1995 году - его представила компания M-Systems.

В 2008 году южнокорейской компании Mtron Storage Technology удалось создать SSD-накопитель со скоростью записи информации 240 МБ/с и скоростью чтения 260 МБ/с, который она продемонстрировала на выставке в Сеуле. Объем данного накопителя составлял уже 128 ГБ. В 2009 году компания Super Talent Technology представила SSD объемом 512 гигабайт, а компания OCZ - SSD объемом 1 терабайт.

В настоящее время активно развивают SSD-направление в своей деятельности компании Intel, Samsung Electronics, SanDisk, Corsair и OCZ Technology. Кроме того, интерес к этому сектору рынка накопителей демонстрирует Toshiba.

Ячейкой памяти flash-накопителей является полевой транзистор с дополнительным плавающим затвором. Благодаря тому, что плавающий затвор изолирован от всех прочих электродов транзистора, заряд на нем может сохраняться достаточно долго - до 10 лет и более.

Идея использования полевого транзистора с плавающим затвором в качестве ячейки памяти долговременного хранения впервые была предложена инженером фирмы Toshiba Фудзио Масуока еще в 1984 году, а широко известный ныне термин «flash» придумал коллега Фудзио - инженер Сёдзи Аридзуми, которому процесс стирания содержимого ячеек памяти чем-то напоминал работу фотовспышки (flash).

Свою идею Масуока в том же 1984 году изложил на международной научной конференции общества IEEE, проходившей в Сан-Франциско. Идея вызвала широкий интерес, и многие фирмы начали

работы в направлении реализации предложенного Масукой принципа хранения информации. Больше всех преуспела на этом поприще фирма Intel, которая в уже 1988 году освоила серийный выпуск первых микросхем flash-памяти.

6.2. Ячейки памяти flash-накопителей

6.2.1. Обычный полевой транзистор

Конструкция обычного полевого транзистора типа n-p-n показана на рис. 6.1. Области стока и истока у такого транзистора имеют электронную проводимость (n-типа), а подложка и область затвора - дырочную (p-типа).

За счет диффузии дырок из p-области в n-область и обратной диффузии электронов из n-области в p-область на границах переходов p- и n-областей формируются обедненные слои, т.е. слои, в которых основные носители зарядов отсутствуют. Обедненные слои препятствуют протеканию тока через транзистор. По этой причине, если к затвору напряжение не прикладывается, транзистор находится в закрытом состоянии и не способен проводить ток от истока к стоку. Та же картина наблюдается, если к затвору приложить отрицательный потенциал: в области, прилегающей к затвору, образуется слой, обедненный электронами, который препятствует переносу заряда от истока к стоку (рис. 6.2,а). Ситуация не меняется, даже если приложить напряжение между стоком и истоком (при этом не принимаются во внимание токи утечки, вызванные движением под воздействием формируемых электрических полей неосновных носителей заряда, т.е. дырок для n-области и электронов для p-области).

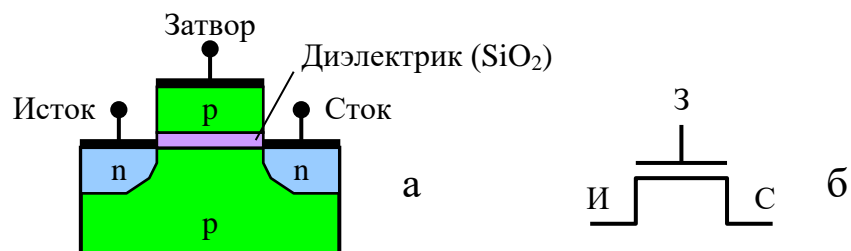


Рис. 6.1. Структура обычного полевого транзистора (а) и его обозначение на электрических схемах (б)

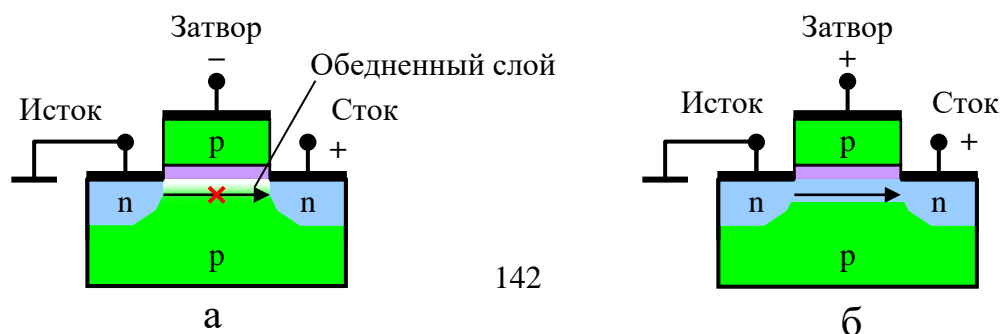


Рис. 6.2. Полевой транзистор в закрытом (а)

Однако если к затвору приложить положительный потенциал, то ситуация в корне изменится. Под воздействием электрического поля затвора дырки выталкиваются вглубь p -области, а электроны, наоборот, втягиваются в область под затвором, образуя обогащенный электронами канал между истоком и стоком. Если приложить к затвору положительное напряжение, эти электроны начинают двигаться от истока к стоку, т.е. транзистор открывается (рис. 6.2,б). Если напряжение с затвора снимается, электроны перестают втягиваться в область между истоком и стоком, проводящий канал исчезает и транзистор перестает пропускать ток, т.е. закрывается.

В открытом состоянии сопротивление между стоком и истоком близко к нулю, а в закрытом состоянии это сопротивление может достигать десятков мегом. Если тока через транзистор нет (транзистор закрыт), то приложенное между истоком и стоком напряжение можно сопоставить с логической «единицей». Если транзистор открыт, то падение напряжения на нем будет близко к нулю - получим логический «нуль». Таким образом, подавая управляющее напряжение на затвор транзистора, можно формировать на нем значение логического «нуля» или «единицы». Однако стоит убрать управляющее напряжение, как транзистор тут же закроется и информация исчезнет даже при наличии питающего напряжения. Она тем более исчезнет, если вообще снять питающее напряжение.

Следовательно, обычный полевой транзистор для долговременного хранения информации не годится. Чтобы сохранять информацию, нужно обеспечить возможность транзистору находиться в открытом или закрытом состоянии сколь угодно долго.

6.2.2. Полевой транзистор с плавающим затвором

Для того чтобы обеспечить возможность долговременного хранения информации, в транзисторы, используемые во flash-памяти, добавляется еще один затвор - плавающий, т.е. изолированный от всех прочих электродов (рис. 6.3). Он позволяет сохранять определенный заряд (некоторое количество электронов), характеризующий записанную информацию, в течение очень длительного времени.

Роль плавающего затвора состоит в следующем. Если на нем нет избыточного заряда, то транзистор ведет себя так же, как обычный полевой транзистор без плавающего затвора. При подаче на управляющий затвор положительного напряжения (инициализация ячейки памяти) транзистор откроется, через образовавшийся канал потечет ток, падение напряжения на транзисторе будет стремиться к нулю, что и будет характеризовать процесс считывания из ячейки памяти логического «нуля» (рис. 6.4,а).

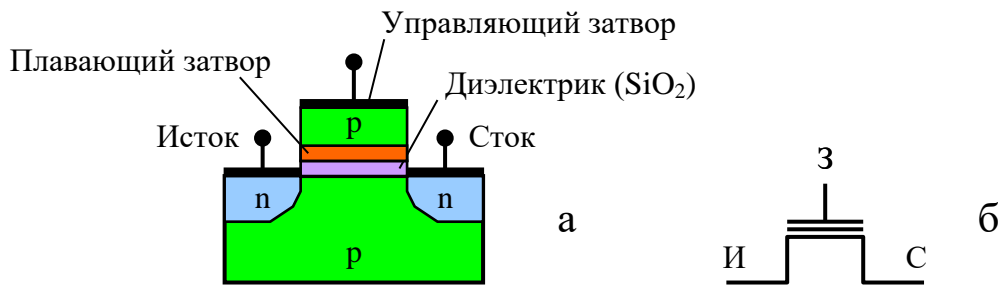


Рис. 6.3. Структура полевого транзистора с плавающим затвором (а) и его обозначение на электрических схемах (б)

Если же на плавающем затворе тем или иным способом размещен избыточный отрицательный заряд (электроны), то даже при подаче положительного напряжения на управляющий затвор он компенсирует создаваемое управляющим затвором электрическое поле. Канал проводимости при этом образоваться не сможет, и транзистор останется в закрытом состоянии. Из ячейки памяти в этом случае будет считана логическая «единица».

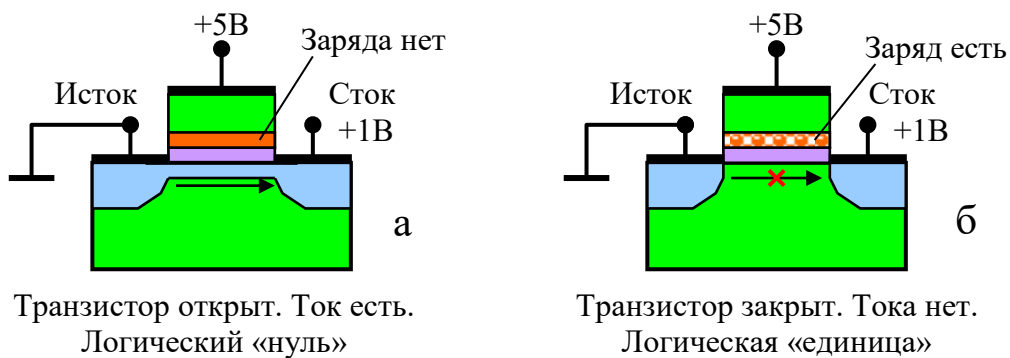


Рис. 6.4. Чтение логического «нуля» (а) и логической «единицы» (б) из ячейки памяти на основе полевого транзистора с плавающим затвором

Таким образом, наличие или отсутствие заряда на плавающем затворе однозначно определяет состояние транзистора (открыт или закрыт) при подаче одного и того же положительного напряжения на

управляющий затвор. Если подачу напряжения на управляющий затвор рассматривать как инициализацию ячейки памяти, то по напряжению между истоком и стоком можно судить о наличии или отсутствии заряда на плавающем затворе. Получается своеобразная элементарная ячейка памяти, способная хранить один бит информации. При этом важно, чтобы заряд на плавающем затворе (если он там имеется) мог сохраняться как угодно долго как при инициализации ячейки памяти, так и при отсутствии напряжения на управляющем затворе. В этом случае ячейка памяти будет энергонезависимой [108-111].

Помещать заряд на плавающий затвор можно методом инъекции горячих электронов, а удалять - методом туннелирования Фаулера-Нордхейма.

Метод инъекции (рис. 6.5,а) состоит в том, что на управляющий затвор подается достаточно высокое напряжение (гораздо большее, чем при чтении). Более высокое напряжение подается и на сток. Это нужно для того, чтобы придать электронам, перемещающимся по каналу, энергию, достаточную для преодоления потенциального барьера, создаваемого тонким слоем диэлектрика, и туннелировать (переместить) их в область плавающего затвора.

Для удаления заряда с плавающего затвора **методом квантово-механического туннелирования Фаулера-Нордхейма** (стирания информации из ячейки памяти) на управляющий затвор подается высокое (порядка 9В) отрицательное напряжение, а на область истока — положительное напряжение (порядка +6В). Это приводит к тому, что электроны туннелируют из области плавающего затвора в область истока (рис. 6.5,б) [112].

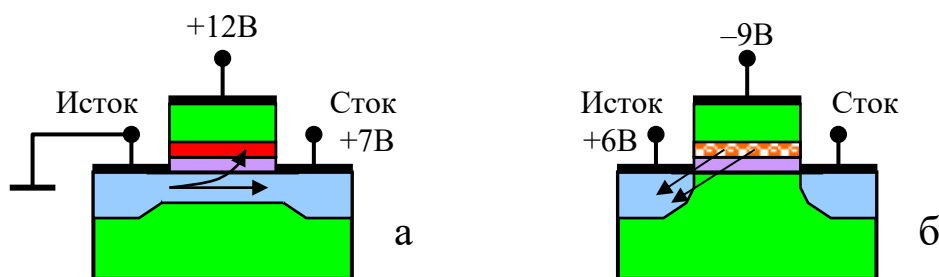


Рис. 6.5. Размещение (а) заряда на плавающем затворе транзистора и его удаление (б)

Транзистор с плавающим затвором, очевидно, можно использовать в качестве энергонезависимой ячейки памяти. Однако при построении той или иной архитектуры памяти из больших массивов таких ячеек возникают сложности, вызванные взаимным влиянием шин, к которым подключаются управляющие затворы транзисторов (такие

шины называются **линиями слов**) и их стоки (**линии бит** или **битовые линии**). Поскольку при записи информации методом инжекции горячих электронов на этих линиях присутствуют достаточно высокие напряжения, то для обеспечения требуемой развязки транзисторы приходится располагать на достаточно большом расстоянии друг от друга. Следовательно, приходится либо уменьшать количество ячеек памяти, размещаемых на единице площади кристалла, либо увеличивать размеры самого кристалла. И того, и другого хотелось бы избежать.

Еще одним слабым местом одностранзисторной ячейки является то, что при стирании информации с плавающего затвора может быть удалено слишком большое число электронов, и он приобретет положительный заряд, который потом невозможно будет компенсировать при записи. Транзистор с таким зарядом навсегда останется открытым.

6.2.3. Двухтранзисторная ячейка

Для того чтобы обойти недостатки одностранзисторных ячеек памяти, используются различные методы. Одним из модифицированных вариантов ячейки памяти является **двухтранзисторная ячейка**, содержащая обычный полевой транзистор и транзистор с плавающим затвором (рис. 6.6). Обычный транзистор используется здесь как буферный элемент - для развязки стока транзистора с плавающим затвором и битовой линии.

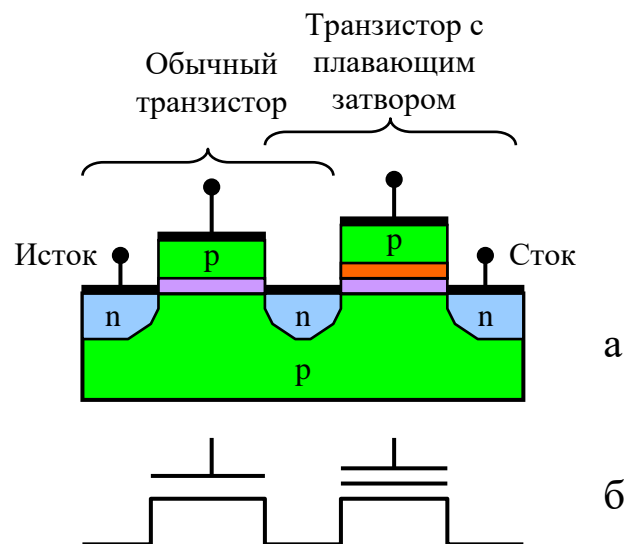


Рис. 6.6. Структура двухтранзисторной ячейки памяти (а) и ее обозначение на электрических схемах (б)

Несмотря на кажущееся усложнение структуры, двухтранзисторная ячейка имеет практически те же размеры, что и одното транзисторная, позволяя создавать более компактные и хорошо масштабируемые микросхемы памяти. Другое преимущество двухтранзисторной ячейки состоит в том, что здесь для записи и стирания информации используется один и тот же метод квантово-механического туннелирования, не требующий такого высокого напряжения на управляющем затворе, как при использовании метода инъекции горячих электронов.

6.2.4. Ячейка SST

Еще одной разновидностью ячеек flash-памяти является ячейка SST, получившая свое название от фирмы-разработчика Silicon Storage Technology.

SST-ячейка также является одното транзисторной, но конструкция ее отличается от рассмотренной выше (рис. 6.7).

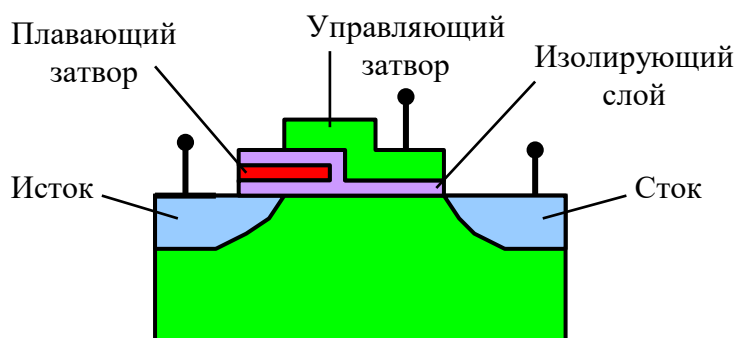


Рис. 6.7. Структура SST-ячейки

Прежде всего, плавающий затвор здесь смещен в сторону истока и частично располагается над ним. Управляющий затвор имеет изогнутую форму, причем один его край примыкает к области стока, а другой располагается над плавающим затвором. Такая конструкция транзистора позволяет более эффективно размещать заряд на плавающем затворе методом инъекции горячих электронов, а также уверенно контролировать процесс удаления заряда методом туннелирования, не допуская переразряда и появления на плавающем затворе положительного потенциала.

Процесс удаления заряда с плавающего затвора здесь также отличается от аналогичного процесса в обычной одното транзисторной ячейке: туннелирование электронов происходит не в область истока, а

в область управляющего затвора, на который для этого подается высокое положительное напряжение.

При помещении заряда на плавающий затвор сток заземляется, а к истоку и управляющему затвору подается положительное напряжение. Управляющий затвор формирует при этом канал проводимости, а напряжение между стоком и истоком «разгоняет» электроны, сообщая им энергию, достаточную для преодоления потенциального барьера, т.е. для туннелирования на плавающий затвор.

Схема организации памяти на SST-ячейках также отличается от организации памяти на обычных одностранзисторных ячейках.

6.2.5. Ячейки SLC и MLC

Все рассмотренные выше разновидности ячеек flash-памяти способны хранить только один бит информации - либо «1», либо «0». Считывание этого бита состоит в распознавании только одного из двух возможных значений падения напряжения на транзисторе (напряжения на битовой линии) или, что то же самое, одного из двух значений тока через транзистор, которое в свою очередь соответствует одному из двух уровней заряда на плавающем затворе транзистора. Такие ячейки принято относить к категории **одноуровневых ячеек SLC (Single Level Cell)**. Кроме них существуют и широко используются ячейки, в которых различают не два, а четыре уровня заряда на плавающем затворе. Такие ячейки называются **многоуровневыми** или **MLC-ячейками (MultiLevel Cell)**. Эти четыре уровня обозначаются четырьмя двухразрядными двоичными числами 00, 01, 10 и 11 (рис. 6.8). Следовательно, MLC-ячейка может хранить не один, а два бита информации, что выгодно отличает ее от SLC-ячейки.

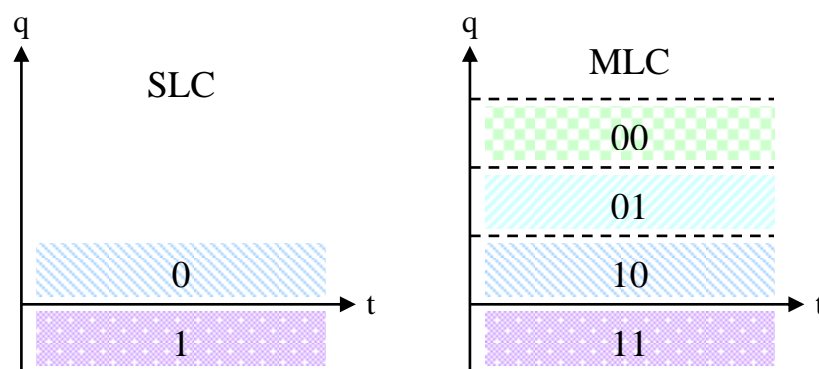


Рис. 6.8. Отображение бит информации через величину заряда q на плавающем затворе в ячейках SLC и MLC

Из-за большей информационной емкости одной ячейки MLC микросхемы памяти на ее основе также имеют большую емкость в сравнении с микросхемами тех же размеров на основе ячеек SLC и, кроме того, получаются дешевле в пересчете на 1 Гб [113].

Однако надежность SSD-накопителей с ячейками MLC ниже в сравнении с накопителями на базе одноуровневых ячеек и для обнаружения и коррекции возможных ошибок приходится использовать помехоустойчивые коды с более сложными алгоритмами декодирования.

Быстродействие микросхем памяти с ячейками MLC ниже, чем у микросхем на основе SLC [114].

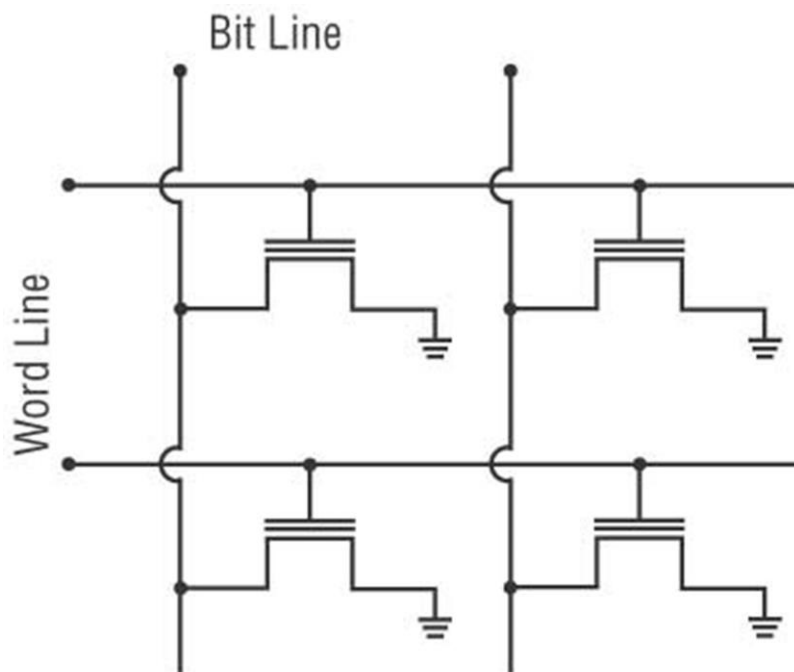
В принципе одна ячейка способна хранить и 3, и 4 бита информации, но для этого необходимо будет различать уже 8 или 16 уровней заряда на плавающем затворе, что не так просто. Тем не менее технологией многоуровневых ячеек активно занимается фирма Intel, а сама технология известна под названием Intel Strata Flash.

Существуют и другие типы ячеек flash-памяти.

6.3. Основные архитектуры flash-SSD

Наиболее известны и распространены две архитектуры flash-памяти: NOR и NAND.

Архитектура **NOR** (рис. 6.9) сходна по структуре со схемой ИЛИ-НЕ (NOR по-русски обозначает ИЛИ-НЕ), поскольку такая архитектура обеспечивает доступ к каждому байту информации, хранящемуся в памяти (потому и ИЛИ), а логическая «единица» здесь соответствует «низкому» уровню (вопреки общепринятому «высокому») на выходе элемента памяти (потому и НЕ). Но отсюда вытекает и основной недостаток архитектуры NOR: к каждому управляющему затвору необходимо подвести отдельный проводник, поэтому размеры кристалла увеличиваются.

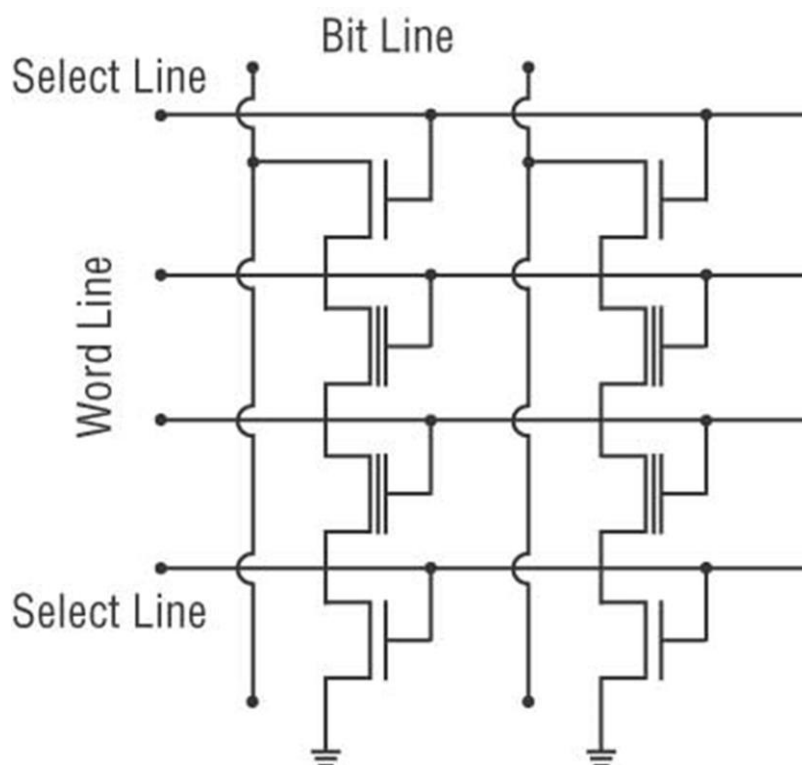


Кроме того, к недостаткам можно отнести относительно медленную запись и стирание.

Достоинствами архитектуры NOR являются: быстрый произвольный доступ как при записи, так и при чтении; параллельный интерфейс; возможность побайтной записи.

Исходя из имеющегося сочетания достоинств и недостатков, можно заключить, что память с архитектурой NOR выгоднее всего использовать там, где важна скорость считывания, а не записи. Например, для хранения программного обеспечения в компьютерах (PC BIOS), мобильных телефонах, цифровых фотоаппаратах, медиаплеерах и пр.

Архитектура **NAND** (рис. 6.10) сходна по структуре со схемой И-НЕ (NAND в русской терминологии соответствует И-НЕ). Здесь доступ возможен не к отдельному байту, а только к некоторому массиву данных - поэтому «И». Логической «единице» в этом случае также соответствует «низкий» уровень - поэтому «НЕ». Управление группами ячеек с помощью одного проводника обеспечивает некоторую экономию места на кристалле, поэтому кристалл можно сделать меньше (или на том же кристалле разместить больше ячеек). Кроме того, запись и стирание NAND-ячеек занимают меньше времени в сравнении с NOR-ячейками. Используется последовательный интерфейс.



Преимущество архитектуры NAND в сравнении с NOR - относительно быстрая запись и стирание.

Недостатками являются достаточно большое время произвольного доступа и невозможность побайтной записи [115].

Представляет собой наиболее подходящий тип памяти для приложений, ориентированных на блочный обмен: MP3 плееров, цифровых фотокамер и в качестве замены жесткого диска.

Архитектуры NAND и NOR существуют независимо друг от друга и не конкурируют, поскольку области применения у них разные.

6.4. Преимущества и недостатки SSD-накопителей в сравнении с жесткими дисками

6.4.1. Преимущества

Самым главным преимуществом SSD-накопителей в сравнении не только с HDD, но и со всеми прочими накопителями, использующими перемещающиеся носители (диски и ленты), является **отсутствие у них движущихся частей**. Следствиями этого обстоятельства являются **полное отсутствие шума во время работы, высокая стойкость к механическим ударам и тряске, малые размеры и вес, низкая потребляемая мощность, а также широкий диапазон рабочих температур**.

Важным преимуществом SSD перед прочими накопителями является практически мгновенный (микросекунды) доступ к любому записанному файлу вне зависимости от его расположения в массиве данных и фрагментации, поскольку для этого не нужно тратить время на разгон носителя и позиционирование считывающей головки. Если SSD-накопитель используется в компьютере вместо жесткого диска, то время загрузки системы при включении составляет всего около 1 с.

Неоднозначен вопрос **скорости считывания данных и их записи**. Производители SSD-накопителей, предназначенных для использования в компьютерных системах вместо жесткого диска, указывают скорость считывания до 285 Мб/с, а скорость записи - до 275 Мб/с, что говорит о явном преимуществе SSD в сравнении с HDD. Однако

здесь все не так просто, особенно в отношении записи. Во-первых, в отличие от оптических и магнитных носителей, где запись новой информации осуществляется без стирания старой, SSD-накопители требуют, как минимум, двух операций: вначале нужно стереть старую информацию, т.е. удалить избыточные электроны с плавающих затворов транзисторов ячеек памяти, и только после этого записать новую информацию. Во-вторых, каждая из операций - стирание и запись - является довольно продолжительной. В случае изменения информации добавляется еще и операция предварительного считывания: прежде чем что-то менять, информацию нужно считать в буфер, потом в буфере изменить требуемое, потом стереть старую информацию и только потом записать все заново. Но последнее относится, в основном, к SSD-накопителям с архитектурой NAND, где запись производится только блоками (4 кб), а стирание - страницами (512 кб).

Реальная скорость считывания данных из одной микросхемы flash-памяти составляет всего 20-25 Мб/с, в то время как многие массовые модели винчестеров шагнули уже за 100 Мб/с. Со скоростью записи дела обстоят еще хуже: для микросхем с одноуровневыми ячейками (SLC) она составляет 15-20 Мб/с, для микросхем с многоуровневыми ячейками (MLC) - всего 5-10 Мб/с.

Выход из ситуации состоит в том, что для увеличения скоростных характеристик SSD-накопителей используют распараллеливание операций чтения, стирания и записи. И действительно, для получения достаточно большой информационной емкости накопителя в любом случае приходится использовать не одну микросхему памяти, а несколько. Кроме того, в корпусе накопителя всегда есть контроллер, который управляет процессами записи и считывания данных и выполняет операции по их кодированию/декодированию с целью защиты от возможных ошибок. Поэтому, обеспечив его функцией распределения входного потока данных по N параллельным каналам записи в N разных микросхем, можно в N раз увеличить как скорость записи, так и скорость считывания.

Структурная схема SSD-накопителя показана на рис. 6.11. Для обеспечения всех выполняемых задач контроллер в своем составе должен иметь буферную память с произвольным доступом (RAM) объемом в несколько мегабайт. Кроме того, в структуре SSD-накопителя обязательно присутствует кодек интерфейса (SATA, USB и пр.).

Следует заметить, что такую архитектуру могут иметь не только SSD-накопители большой емкости, предназначенные для работы в составе компьютеров, но и обычные flash-карты, USB-flash-накопители («флэшки») и другие flash-устройства, поскольку две микросхемы по-

ловинной емкости стоят примерно столько же, сколько одна целая, зато производительность изделия можно увеличить почти вдвое.

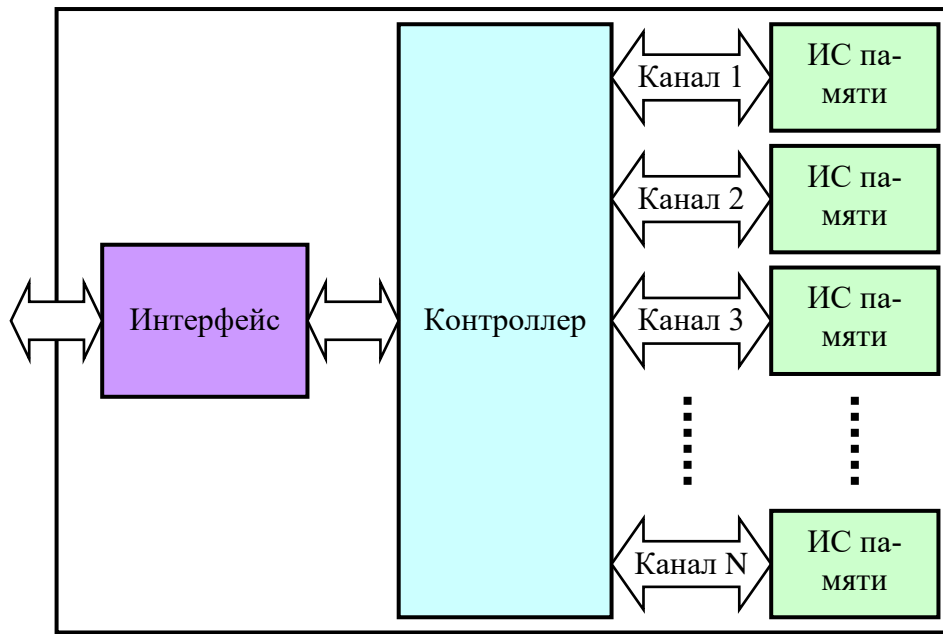


Рис. 6.11. Внутренняя структура SSD-накопителя

6.4.2. Недостатки

Основной недостаток, который пока еще сдерживает продвижение SSD-накопителей большой емкости на рынок и не позволяет им вытеснить жесткие диски, это их высокая цена (от 3 долларов за гигабайт и выше, при примерно 8 центах - для жестких дисков). Причем стоимость SSD-накопителей прямо пропорциональна емкости, в то время как стоимость традиционных жестких дисков зависит от количества пластин и медленнее растет при увеличении объема диска. Но это недостаток, разумеется, временный, поскольку развитие SSD-технологии идет гораздо быстрее, чем у жестких дисков, и со временем разница исчезнет, а в дальнейшем станет уже в пользу SSD.

Другим недостатком flash-памяти является более высокая чувствительность к внезапной потере питания, магнитным и электрическим полям. С этим недостатком бороться гораздо труднее и пока непонятно как именно.

Еще одним серьезным недостатком SSD-накопителей является ограниченное количество циклов перезаписи. Дело в том, что операции стирания не полностью обратимы, поэтому со временем ячейки flash-памяти разрушаются. Однако ресурс достаточно высок: в среднем у ячейки MLC - до 100000 циклов, у ячейки SLC - до 1000000 циклов. Для flash-карты и flash-брелока вполне достаточно. Но для работы в составе компьютера - маловато. Тем не менее работа над увеличением ресурса постоянно ведется и, надо полагать, в будущем этот недостаток будет, в конце концов, устранен.

Самое неприятное - это то, что если не предпринимать никаких мер, изнашиваться в процессе эксплуатации разные ячейки будут неравномерно. Как и в любом другом накопителе информации, обращение к области данных пользователя будет не таким уж и частым, а вот к области метаданных - на два порядка чаще. Поэтому может получиться так, что 98% всего массива ячеек памяти выработают только 5% ресурса, а оставшиеся 2% этот ресурс уже исчерпают.

Для устранения этого недостатка было предложено возложить функцию борьбы с неравномерным износом и балансированием нагрузки на контроллер. Он должен хранить информацию о том, какие блоки и сколько раз перезаписывались, и изредка «менять их местами».

6.5. Типы SSD-накопителей

6.5.1. Flash-карты

CF (Compact Flash)

Карты памяти CF являются самым старым типом flash-карт. Первая CF карта была выпущена корпорацией SanDisk еще в 1994 году. Этот формат карты памяти и по сей день является наиболее распространенным (~54%). Ориентирован на бытовую электронику и компьютерное оборудование нового поколения. Компактность и надежность этих носителей позволяют использовать их в цифровых фотокамерах, MP3-плеерах, мобильных телефонах, карманных сканерах, фотопринтерах, портативных терминалах, магнитофонах, диктофонах, GPS-навигаторах и во многих других устройствах, имеющих разъем CompactFlash. Размер карты CF 43×36×3,3 мм (рис. 6.12). Интерфейсный разъем карты оснащен 50 контактами.

В настоящее время CF представляет собой наиболее выгодное решение в плане удельной стоимости хранимых носителем данных на основе flash-памяти при объеме более 32 Мбайт.

Одним из главных достоинств карты CF является наличие встроенного АТА-контроллера, благодаря которому она совместима с IDE-интерфейсом, что подразумевает возможность эмуляции жесткого диска. На программном уровне карта ничем не отличается от винчестера: она обладает всеми необходимыми параметрами, такими как количество виртуальных цилиндров и головок. Обращение к карте выполняется с помощью стандартного аппаратного прерывания IRQ 14, и зачастую для работы с CF не нужны специальные драйверы.



Рис. 6.12. Карты Compact Flash

Встроенный преобразователь напряжения питания позволяет подключать карты CF в слоты с напряжением как 3,3 В, так и 5 В.

Существуют два типа карт CF: Type I и Type II, единственное различие между которыми заключается в толщине корпуса: у карт Type I толщина составляет 3,3 мм, а у Type II — 5,5 мм. Однако карты CF Type I можно использовать в слотах Type I и Type II, а карты CF Type II — только в слотах Type II.

Карты CF являются рекордсменами как по скорости чтения/записи, так и по максимальной емкости, благодаря чему широко распространены в среде профессиональных цифровых камер. Что касается скорости, то следует отметить, что многие производители выпускают различные как по скорости, так и по цене серии карт CF. Сегодня в розничной торговле доступны карты CF объемом до 8 Гбайт. Если же говорить о скоростях чтения/записи, то здесь все зависит и от производителя, и от серии, и даже от объема карты.

SM (SmartMedia)

Спецификация на карты SmartMedia была предложена компанией Toshiba в 1996 году. Впрочем, первоначально эти карты имели более мудреное название: Solid-State Floppy Disk Card (SSFDC). Карты SM имеют наименьшую толщину среди всех существующих сегодня носителей на основе flash-памяти — всего 0,76 мм (как у кредитной карточки). Этот показатель был достигнут благодаря максимальной простоте устройства: внутри карты SM отсутствуют контроллеры и дополнительные схемы, а установлена лишь микросхема NAND-памяти. Такое решение позволило максимально уменьшить как размер (45×37×0,76 мм) и вес (около 2 г) самой карты, так и ее цену. Внешний вид карты SM показан на рис. 6.13.

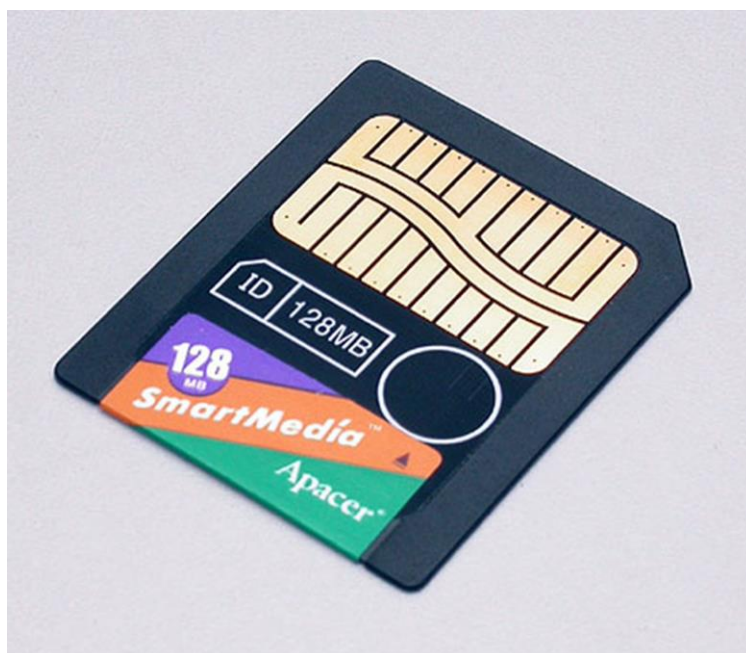


Рис. 6.13. Карта SmartMedia

Компактность этих карт памяти позволяет использовать их в цифровых камерах, диктофонах, факс-аппаратах, принтерах, сканерах, электронных записных книжках и портативных терминалах. Кроме того, карты памяти этого типа могут применяться в оборудовании, требующем использования съемных микросхем памяти в целях обеспечения портативности, обновления ПО или наращивания объемов памяти для поддержки новых приложений.

Для подключения карт SM используется плоский разъем с 22 контактами. Передача данных осуществляется по 8-разрядной шине, максимальное время доступа при чтении и записи в зависимости от емкости карты составляет от 50 до 80 нс.

Существуют два вида карт SM, один из которых рассчитан на напряжение питания 3,3 В, а другой — на 5 В. Вид карты легко определить по положению так называемого ключа — срезанного угла в той части карты, где расположены контакты. Поскольку ключи у них расположены с разных сторон, эти виды карт несовместимы между собой, т.е. вставить карту SM, рассчитанную на 3,3 В, в разъем с напряжением питания 5 В невозможно и наоборот.

MMC (*Multimedia Card*)

Карта MMC разработана компаниями SanDisk и Siemens. На момент своего появления в 1997 году карты MMC были самыми миниатюрными (24×32×1,4 мм) и самыми легкими (менее 2 г).

Предназначены карты, в соответствии со своим названием, для применения в цифровых видео- и фотокамерах, мобильных телефонах с интеллектуальными функциями и функциями загрузки/воспроизведения музыкальных записей, цифровых портативных аудиоплеерах, игрушках и игровых приставках, карманных ПК и электронных органайзерах.

Обмен данными производится через последовательный интерфейс. Максимальная скорость чтения и записи - до 20 Мбайт/с. Максимальный объем - до 8 Гбайт и выше.

MMC содержит контроллер памяти и обладает полной совместимостью с устройствами, использующими карты SD. Занимает примерно 3% рынка. Существует несколько разновидностей карт MMC.

S-MMC (*Secure MultiMediaCar*.) Имеют встроенную схему защиты от несанкционированного доступа и копирования. Совместимы со спецификацией SDMI.

RS-MMC (*Reduced Size Multimedia Card*). Разновидность карты MMC, которая вдвое короче стандартной и предназначена для использования в мобильных телефонах, смартфонах и коммуникаторах. Ее размеры составляют 24×18×1,4 мм, а вес — около 6 г, все прочие характеристики - те же, что и у обычной MMC. Для обеспечения совместимости со стандартом MMC при использовании карт RS-MMC нужен адаптер. Стандарт на нее утвержден 11 ноября 2002 года.

DV-RS-MMC (*Dual Voltage Reduced Size Multimedia Card*). Карты памяти DV-RS-MMC с двойным питанием (1,8 и 3,3 В) отличаются пониженным энергопотреблением, что позволит работать мобильному телефону немного дольше. Размеры карты совпадают с размерами RS-MMC: 24×18×1,4 мм.

HS-MMC (*High Speed MMC*). Высокоскоростная разновидность карты MMC, обеспечивающая скорость передачи данных до 52 Мбит/с.

MMCmicro. Миниатюрная карта памяти для мобильных устройств с размерами 14×12×1,1 мм. Для обеспечения совместимости со стандартным разъемом MMC необходимо использовать переходник.

MMCplus. Обеспечивают повышенную скорость обмена данными (до 52 Мбайт в секунду) и допускают эксплуатацию в системах с напряжением питания 1.8 и 3 – 3.3 В.



Рис. 6.14. Карты MMC

SD Card (Secure Digital Card)

Карты типа SD были разработаны компаниями Matsushita (Panasonic), SanDisk и Toshiba и представляют собой дальнейшее развитие стандарта MMC. Являются представителями третьего поколения flash-памяти. Предназначены для использования в цифровых диктофонах, портативных плеерах, видеокамерах, автомагнитолах, карманных компьютерах, сотовых телефонах и мультимедийных проекторах.

По размерам и характеристикам карты SD очень похожи на MMC (рис. 6.15), только чуть толще (32×24×2,1 мм). Вес - 2 г. Основное отличие от MMC — технология защиты авторских прав, что, собственно, и отражено в их названии (Secure). Карта имеет криптозащиту от несанкционированного копирования, повышенную защиту информации от случайного стирания или разрушения и механический переключатель защиты от записи. Несмотря на родство стандартов, карты SD нельзя использовать в устройствах с разъемом MMC. Занимает примерно 10% рынка flash-карт. Так же, как MMC, имеет несколько разновидностей.

SDHC (SD High Capacity, SD высокой ёмкости). Старые карты SD (SD 1.0, SD 1.1) и новые SDHC (SD 2.0) и устройства их чтения различаются ограничением на максимальную ёмкость носителя, 4 Гб - для SD и 32 Гб - для SDHC. Устройства чтения SDHC обратно совместимы с SD, т.е. SD-карта будет без проблем прочитана в устройстве чтения SDHC, но в устройстве SD карта SDHC не будет читаться вовсе. Оба варианта могут быть представлены в любом из трёх форматов физических размеров (стандартный, mini и micro).

MiniSD (Mini Secure Digital Card). От стандартных карт Secure Digital отличаются меньшими размерами 21,5×20×1,4 мм. Для обеспечения работы карты в устройствах, оснащённых обычным SD-разъёмом, используется адаптер.



Рис. 6.15. Карта SD

MicroSD (Micro Secure Digital Card). Являются одними из самых компактных съёмных устройств flash-памяти (11×15×1 мм). Используются, в первую очередь, в мобильных телефонах, коммуникаторах и т. п., так как, благодаря своей компактности, позволяют существенно расширить память устройства, не увеличивая при этом его размеры. Переключатель защиты от записи вынесен на адаптер microSD-SD. Максимальный размер карты microSDHC, выпущенной SanDisk в 2010 году, равен 32 Гб.

Memory Stick

Данный стандарт памяти разработан компанией Sony и предназначен для использования в цифровых камерах этой фирмы. Выпуск карт Memory Stick осуществляется с 1998 года. Обладает достаточно прочным корпусом, по форме и размерам (21,5×50×2,8 мм) напоминающим пластинку жевательной резинки - отсюда и название «Stick» (рис. 6.16). На данный момент - это самая дорогая память из всех представленных, но и одна из самых распространенных (~25%).



Рис. 6.16. Карта Memory Stick

MagicGate Memory Stick. Разновидность основного носителя со встроенной системой защиты от несанкционированного копирования и доступа к данным.

Memory Stick Duo. Разработан на базе основного стандарта Memory Stick, но отличается от него малыми размерами (20×31×1,6 мм).

Memory Stick Micro (M2). Данный формат является конкурентом формата microSD (по размеру), сохраняя преимущества карт памяти Sony.

Memory Stick PRO. Имеет корпуса тех же форм и размеров, что и обычные Memory Stick. Если же сравнивать технические характеристики, то, кроме увеличения емкости, карты Memory Stick PRO обла-

дают гораздо более высокой скоростью обмена данными и усовершенствованными механизмами защиты данных. Ёмкость Memory Stick PRO - до 32 Гбайт. Максимальная скорость обмена, обеспечиваемая конструкцией, составляет 160 Мбит/с, а скорость записи - не менее 15 Мбит/с.

Существует модификация уменьшенных размеров Memory Stick PRO Duo (рис. 6.17).

Во всех носителях Memory Stick PRO используется технология защиты данных MagicGate. Помимо этого в них встроена и новая система защиты данных, позволяющая ограничивать доступ к хранимым на носителе файлам, предотвращая просмотр и распространение защищенных данных даже в случае утери или кражи карты.



Рис. 6.17. Карта Memory Stick PRO Duo

При создании карт Memory Stick PRO реализовано технологическое решение, которое позволит избежать потери данных при преждевременном извлечении карты из разъема. Даже если пользователь извлечет карту, не дождавшись окончания процесса записи, то после повторной установки носителя можно будет возобновить запись с того места, где она была прервана. При этом гарантируется сохранность не только данного файла, но и всей файловой системы карты.

xD-Picture

Стандарт xD-Picture является самым молодым из всех рассмотренных выше, а также и самым миниатюрным (20×25×1,7 мм). Разра-

ботан компаниями Olympus и FujiFilm в 2002 году. Карты этого типа используются в цифровых фотоаппаратах фирм-разработчиков и некоторых других фирм (рис. 6.18).

По замыслам разработчиков карты xD-Picture должны заменить морально устаревшие карты SmartMedia, максимальная емкость которых (в силу технологических причин) не превышает 128 Мбайт. Теоретически емкость карт xD может достигать 8 Гбайт. Кроме того, тенденция миниатюризации цифровых любительских камер требует и адекватной миниатюризации карт памяти.

Карты xD-Picture имеют 22-контактный разъем, совместимый с разъемом SmartMedia Card.

Основное отличие карт xD от большинства других (кроме SmartMedia) - отсутствие контроллера. По этой причине карты xD имеют относительно небольшой размер и невысокие скоростные показатели. Максимальная скорость чтения данных с карт xD-Picture составляет 5 Мбайт/с, а скорость записи - 3 Мбайт/с (для карт емкостью 16 и 32 Мбайт - 1,3 Мбайт/с); напряжение питания - 3,3 В; потребляемая при работе мощность - 25 мВт.



Рис. 6.18. Карта памяти xD-Picture типа H

До 2005 года в картах памяти основного формата xD-Picture Card использовались ячейки SLC, и такие карты имели емкость от 16 МБ

до 512 МБ. В картах памяти типа М, выпущенных в феврале 2005 года, для увеличения емкости использовались уже ячейки МLC, поэтому такие карты имели емкость от 256 МБ до 2 ГБ. Но скорости чтения/записи у карт типа М при этом получились значительно меньшими, чем у карт основного формата (скорость чтения - около 4 Мб/с, скорость записи - около 2.5 Мб/с).

В том же 2005 году были выпущены карты типа Н, обеспечивавшие более высокие скорости чтения/записи, в сравнении с картами типа М (скорость чтения - около 5 Мб/с и около 4 Мб/с - скорость записи). Их объем также составляет от 256 Мбайт до 2 Гбайт (рис. 6.18).

В апреле 2008 года были представлены карты типа М+, с увеличенной в 1.5 раза скоростью чтения/записи по сравнению с картами М. Емкость карт М+ составляет 1 и 2 ГБ.

6.5.2. Компьютерные SSD-накопители

Компьютерные SSD-накопители по своей информационной емкости уже вплотную приблизились к жестким дискам, поэтому медленно, но верно начинают вытеснять их как из обычных ПК, так и из серверов и рабочих станций. В первую очередь там, где требуются высокие скорости доступа к информации. Сообщения о новых изделиях этого класса поступают чуть ли не каждый день. Рассмотрим в качестве примера некоторые из таких новинок.

Характерными представителями твердотельных накопителей для персональных компьютеров являются SSD-накопители RevoDrive фирмы OCZ Technology ёмкостью 120 и 240 Гб (рис. 6.19), о начале продаж которых было заявлено в конце мая 2010 года.

Заявленная скорость чтения информации составляет 540 Мб/с, скорость записи данных – 490 Мб/с. Высокое быстродействие накопителей достигается за счёт использования двух контроллеров SandForce SF-1200 и внутреннего RAID-массива. Подключение дисков к ПК осуществляется по интерфейсу PCI-Express x4.



Накопители выполнены на основе архитектуры NAND с использованием многоуровневых ячеек (MLC). Поддерживаются реализованные в программной платформе Windows 7 команды TRIM, которые обеспечивают равномерность распределения нагрузки по всем ячейкам памяти и, таким образом, позволяют продлить срок службы SSD-накопителя и оптимизировать его производительность.

В июле 2010 года объявила о начале продаж SSD-накопителя серии Mercury Extreme Pro ёмкостью 480 Гб компания Other World Computing (OWC). Накопитель выполнен в 2,5-дюймовом формате и предназначен для использования в составе ПК (рис. 6.20).



Рис. 6.20. SSD-накопитель для ПК компании

Накопитель, построенный на основе контроллера SandForce SF-1232, подключается к ПК с помощью интерфейса SATA, обеспечивающего скорость обмена до 3 Гбит/с. Скорость чтения информации из накопителя достигает 285 Мб/с, а скорость записи данных — 275 Мб/с.

Новинка, так же как и предыдущий образец, поддерживает реализованные в операционной системе Windows 7 команды TRIM, которые позволяют продлить срок службы твердотельного накопителя

и оптимизировать его производительность. Среднее заявленное время наработки на отказ (MTBF) — два миллиона часов.

6.5.3. USB flash-накопители

Накопители с разъемом USB (flash-брелок, «флэшка») знакомы всем и описывать их в подробностях не имеет смысла (рис. 6.21). Всего несколько лет назад они были достаточно дорогим удовольствием, да и емкость их была не очень велика - всего несколько сотен мегабайт. Теперь же «флэшки» являются самым распространенным носителем информации, и емкость их исчисляется единицами и десятками гигабайт. Гибкие диски, на смену которым они пришли, уже окончательно вытеснены из обихода, и даже приводы для них в современных компьютерах отсутствуют. Внешнее исполнение «флэшек» превратилось в своего рода искусство и они теперь больше напоминают разноцветные затейливые украшения, чем изделия высоких технологий.



6.5.4. Flash-рекордеры

Твердотельные рекордеры для профессиональной записи звуковых программ (равно как и видеопрограмм) на основе flash-памяти появились не так давно, но уже прочно заняли свою «экологическую нишу» наряду с оптическими и дисковыми рекордерами.

Портативный рекордер TASCAM HD-P2 (рис. 6.22) предназначен для записи звуковых программ с помощью микрофона. Может использоваться как репортерский и для записи звукового сопровождения кинофильмов при съемках в полевых условиях. Имеет микрофонные входы с разъемами XLR, фантомным питанием, микрофонными усилителями и лимитерами. Кроме того, оснащен встроенным микрофоном для записи интервью и громкоговорителем для прослушивания записанного материала. Также имеет выход на головные телефоны, цифровой выход в формате S/PDIF, а также интерфейс FireWire для переноса данных в компьютер.

Рекордер обеспечивает запись звука с любым требуемым разрешением: от 16 бит/44,1 кГц до 24 бит/192 кГц.

Способен работать как от сетевого адаптера, так и от 8 батареек типа АА. Примерное время работы от батарей - 5,5 ч.



Рис. 6.22. Портативный flash-рекордер TASCAM HD-P2

Для работы рекордера в тяжелых климатических условиях предусмотрен жесткий водонепроницаемый футляр в виде кейса. В качестве носителя используется flash-карта типа SF, которая также размещается в водонепроницаемом отсеке [116].

Время записи на карту SF емкостью 8 Гб:

- 16 бит/44,1 кГц - 13,5 ч;
- 16 бит/48 кГц - 12,4 ч;
- 24 бит/48 кГц - 8,2 ч;
- 24 бит/96 кГц - 4,1 ч;
- 24 бит/192 кГц - 2 ч.

Имеет вход сигнала синхронизации SMPTE.

Вес рекордера вместе с батареями менее 1 кг.

Аналогичными характеристиками обладает flash-рекордер MARANTS PMD 671, представленный на рис. 6.23 [117].

На рис. 6.24 показан flash-рекордер TASCAM SS-R1, предназначенный для установки в стандартную рэковую стойку. Осуществляет запись двухканального стереофонического сигнала на карту SF в форматах WAV и MP3. Имеет аналоговые входы/выходы через разъемы XLR (балансные) и RCA (небалансные), а также цифровые в формате S/PDIF [118].



Рис. 6.23. Портативный flash-рекордер MARANTS PMD 671



Рис. 6.24. Flash-рекордер TASCAM SS-R1

6.5.5. Flash-плееры MP3/MP4

Еще одним широко распространенным изделием на основе твердотельных карт памяти являются flash-плееры MP3/MP4, которые пришли на смену переносным проигрывателям компакт-дисков. Информационная емкость карт памяти у таких плееров в несколько раз превышает емкость компакт-диска, что позволяет записывать на них музыкальные программы отличного качества продолжительностью в несколько десятков часов. Некоторые проигрыватели способны также хранить и воспроизводить на встроенном дисплее видеофайлы продолжительностью в несколько часов.

На рис. 6.25 представлен MP3-плеер фирмы SONY Walkman NWZ-S754, объем памяти которого составляет 16 Гб, что обеспечивает запись до 50 ч музыки или до 10 ч видео. Толщина такого плеера всего 7 мм, вес - 55 г [119-120].



Рис. 6.25. MP3-плеер фирмы SONY Walkman NWZ-S754

Стоит, тем не менее, заметить, что последние модели мобильных телефонов в большинстве своем обладают встроенными функциями МРЗ-плееров, поэтому необходимость в таком плеере как самостоятельном изделии в скором времени может отпасть.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гитлиц М.В. Магнитная запись сигналов: Учеб. пособие для вузов связи. – М.: Радио и связь, 1981. – 160 с.
2. Хосо Гидзюцу, 1978, №10, с. 59-66.
3. Бургов В.А. Теория фонограмм. – М.: Искусство, 1984. – 302 с.
4. Накадзима Х., Огава Х. Цифровые грампластинки. Пер. с япон. – М.: Радио и связь, 1988. – 168 с.
5. Цифровая звукозапись / Под ред. Дж. Маеса и М. Веркаммена; Пер. с англ. - М.: Мир, 2004. – 352 с.
6. Никамин В.А. Цифровая звукозапись: технологии и стандарты – СПб.: Наука и техника, 2002. – 256 с.
7. Щербина В.И. Цифровая звукозапись /. М.: Радио и связь, 1989. 192 с.
8. Никамин В.А. Формат BluRay. СПб.: изд. СПбГУКиТ, 2010. – 72 с.
9. Information Interchange on Read-Only Memory Holographic Versatile Disc (HVD-ROM) – Capacity: 100 Gbytes per disk / Standard ECMA-378, 1st Edition / May 2007.
10. Технология высококачественного звука для потребительской аппаратуры / *T. Arai и др.* // Тэрэбидзен Гаккайси. 1989. т. 43. №6. с. 571-578.
11. Digital Audio Recording and Reproducing System on Magnetic Tape for Domestic Use. DAT Cassette System. Draft IEC Publication. - Doc. 60A (CO) 115-I, II/ 1988.
12. Basic Technologies for DATs / *Y. Fukushima et al.* // National Technical Report. 1988. Apr. Vol. 34. №2. p. 29-39.
13. Digital Signal Processing Technology for R-DAT / *T. Arai et al.* // IEEE Trans. on Consum. Electron. 1986. Aug. Vol. 32. №3. p. 416-424.
14. R-DAT - система цифровой магнитной записи звука / *В.А. Никамин* // Техника кино и телевидения. 1989. №9. с. 66-70.
15. On the Implementation of Tape Friction / *A. Broese van Groenou* // IEEE Trans. on Magnetics. Jan. 1990. Vol. 26. №1. p.144-146.

16. Tribological Investigations of Metallic Layers on Flexible Substrates / *K. Harth et al.* // IEEE Trans. on Magnetics. Jan. 1990. Vol. 26. №1. p.156-158.
17. Inside R-DAT. Part IV / *J. Watkinson* // Hi-Fi News. 1987. August. p. 29-31.
18. Error Correction Method for Rotary Head PCM Recorder / *H. Okamoto et al.* // National Conv. Record. 1985. IECEJ. 79. March. 1985.
19. Error Correction Method for R-DAT and ICs Evaluation / *K. Hayachi, T. Arai et al.* // ICASSP. April. 1986.
20. On Decoding Algorithms / *M. Kasahara* // Trans. IEICE. 1990. Vol. 72A. №2. p. 196-202.
21. Applications of Block Codes / *T. Inoue, K. Fujiwara* // Trans. IEICE. 1990. Vol. 72A. №2. p. 209-217.
22. Coding Techniques for the Noisy Magnetic Recording Channel: A State of the Art Report / *K. Immink* // IEEE Trans Commun. 1989. Vol. 37. №5. p. 413-417.
23. Graceful Degradation of Magnetic Recording Channels / *K. Immink* // IEEE Trans. on Magnetics. 1989. Vol. 25. №3. p. 2780-2786.
24. Inside R-DAT. Part III / *J. Watkinson* // Hi-Fi News. 1987. July. p. 31-33.
25. Detection Window and Linear Density Relationship in Digital Recording Systems / *J. Newman, R. Fisher* // Dig. INTERMAG-81: Int. Magn. Conv., Grenoble. 1981. May. 12-15. New York, N.Y. 1981, 37/11.
26. On a DC Free Block Modulation Code / *T. Furukawa et al.* // IEEE Trans. on Magnetics. 1984. Vol. 20. №5. Pt 1: Int. Magn. Conv. (INTERMAG) Hamburg, Apr. 9-13. 1984. p. 878-880.
27. Никамин В.А. Канальная модуляция в системах записи цифровых данных. – СПб.: изд. СПбГУКиТ, 2010. – 68 с.
28. Magnetic Tape and Cartridge of R-DAT / *F. Itoh et al.* // IEEE Trans. Consum. Electron. CE-32. 1986. №3. p. 442-452.
29. Металлизированные магнитные ленты / *Т. Акио* // Коге Дзайре. 1988. т. 36. №10. с.28-37.
30. Perspectives Davenir de la Bande Magnetique / *Le Haut-Parleur*. 1990. №1774. p. 70-75.
31. Denser Magnetic Memory / *R. Wood* // IEEE Spectrum. 1990. Vol. 27. №5. p. 32-33, 36-68.
32. Металлопорошковые магнитные ленты / *К. Хидэо* // Хосо Гидзюцу. 1989. т. 42. №9. с. 789-793.
33. Усовершенствование магнитных лент / *Сэймицу Когаку Кайси*. 1989. т. 55. №8. с. 1368-1373.
34. DAT Tapes Adopt SAR Metal Material / *JEI*. 1990. №4. p. 10.

35. The Effect of Mechanical and Chemical Surface Properties on the Friction of Magnetic Tapes / *P.E. Wierenga and Schoake* // *Wear*. 1987. Vol. 119. p. 29-50.
36. Microdamage in Sliding Contacts / *P. Kennedy et al.* // *Wear*. 1988. Vol. 121. p. 223-238.
37. On the Mechanism of Contact Between Solid Surfaces / *T. Hisakado* // *Bull. JSME*. 1970. Vol. 13. p. 129-139.
38. The Role of Polymer Binder in Magnetic Recording Media / *K. Sumiya et al.* // Presented at the Am. Chem. Soc. Conf. of Polymers in Information Storage Techniques. Los Angeles. 1988. p. 250-251.
39. Hitachi-Maxell: Разработка металлической ленты для радиовещания и других целей / Хосо Гидзюцу. 1989. т. 42. №9. с. 64-72 (794-802).
40. Магнитная лента на основе феррита бария для скоростного контактного копирования / *Т. Судзуки* // *Тосиба Рэбю*. 1989. т. 44. №8. с. 669-672.
41. Barium-Ferrite Tape for R-DAT Magnetic Contact Duplication / *Y. Okazaki et al.* // *IEEE Trans. on Magnetics*. 1989. Vol. 25. №5. p. 4057-4059.
42. Barium-Ferrite Tape for R-DAT Magnetic Contact Duplication / *T. Suzuki* // *IEEE Trans. on Magnetics*. 1989. Vol. 25. №5. p. 4060-4062.
43. Characteristics of Barium-Ferrite Tape for Magnetic Contact Duplication / *M. Noda et al.* // *IEEE Trans. on Magnetics*. 1990. Vol. 26. №1. p. 81-86.
44. Development of a Rotary Head Digital Audio Tape Recorder (R-DAT) / *M. Doi et al.* // *Sanyo Technical Review*. 1987. Vol. 19. Aug. №2. p. 3-17.
45. Mechanisms Catalogue / *JEI*. 1990. №7. p. 55-60, 62-63.
46. A High-Functional Compact & Light Weight Mechanism for R-DAT / *K. Ogiro et al.* // *IEEE Trans. Consum. Electron*. 1988. Vol. 34. №4. p. 873-879.
47. Лентопротяжный механизм цифрового магнитофона с вращающимися головками / *К. Накагава и др.* // *Мицубиси Дэнки Гихо*. 1988. т. 62, №9. с. 82-87.
48. On the Behavior of Magnetic Tape in Self-Acting Foil Bearings / *T. Tani et al.* // *Trans. Jap. Soc. Mech. Eng.* 1986. Vol. C52. №480. p. 2135-2141.
49. Level Difference in Hybrid Heads After Contact with Various Tapes / *A. Broese van Groenou et al.* // *IEEE Trans. on Magnetics*. 1990. Vol. 26. №1. p. 153-155.

50. Magnetic Domains in Amorphous Alloys for Tape-Recorder Heads / *H.J. De Wit and K. Jager* // Philips Technical Review. 1988. Vol. 44. №4. p. 101-109.
51. A Parallel-Type MIG Head for Use with Metal Tape / *Y. Shimizu et al.* // Sanyo Techn. Rev. 1989. Vol. 21. №2. p. 16-23.
52. High-Performance Metal-In-Gap Heads With Very Small Track Widths / *J.J.M. Ruigrok et al.* // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. 1990. Vol. 83. №1-3. p. 42-44.
53. High-Performance Small-Track-Width Metal-In-Gap Heads Made by Reactive-ion Etching / *S. Ruigrok et al.* // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. 1992. Vol. 85. №1. p. 34-37.
54. ОПТИМИЗАЦИЯ МАГНИТНОЙ ГОЛОВКИ MIG-ТИПА / *А. Гуотоку и др.* // Нихон ое Дзики Гаккайси. 1989. т. 13. №2. с. 89-94.
55. Tracking Servo System Using Four-Different Frequency Pilot Signals / *K. Yamada and K. Kubo* // National Techn. Rep. 1985. Vol. 31. №6. p. 871-880.
56. Inside R-DAT. Part II / *J. Watkinson* // Hi-Fi News. 1987. June. p. 35-37.
57. An Adaptive Equalizer for R-DAT / *S. Kato et al.* // IEEE Trans. on Consum. Electron. 1989. Vol. 35. №3. p. 520-527.
59. Никамин В.А. Форматы цифровой звукозаписи. – СПб.: ЭЛБИ, 1998. – 264 с.
60. The Encyclopedia of SCMS DAT / JEI. 1990. Vol. 37. p. 57-67.
61. DAT's Be Break / *L. Feldman* // Audio. 1988. May. Vol. 72. p. 30,32.
62. Deciding on DAT. Witness of the Persecution / *B. Fox* // Audio. 1988. March. Vol. 72. p. 40-41.
63. DAT's the Way It Is / *Ch. Greeleaf* // Audio. 1989. January. Vol. 73. p. 70-75.
64. DAT Strikes Black / *B. Fox* // What Hi-Fi? 1989. Oct. p. 122-123.
65. DAT. Part I / *B. Fox* // New Hi-Fi Sound. 1989. Nov. p. 15.
66. DAT. Part II / *B. Fox* // New Hi-Fi Sound. 1989. Dec. p. 15.
67. DAT: An Idea Whose Time Came Too Quickly? / LEI. 1989. №10. p. 54, 71.
68. A la Recherche de la Perfection «Le DAT» / *R. Houze* // Autovolt. 1988. №637. p. 39-43, 45, 47.
69. Not With a Band But a Whimper / *P. Polon* // Studio Sound. 1989. №11. p. 78, 80.
70. Get Ready for DAT's / *J. Donnelly* // Pop. Sci. 1989. Vol. 235. №5. p. 100-102.
71. Никамин В.А. Цифровые звуковые интерфейсы. – СПб.: изд. СПбГУКиТ, 2011. – 60 с.

72. Копирование на DAT-магнитофоне / Эрэкутороникусу Райфу. 1990. №5. с. 91-96.
73. It`s a Deal / *L. Boundas* // Stereo Review. 1989. №10. p. 4.
74. DAT Deal`s Done / *L. Feldman* // Audio. 1989. Vol. 73. №10. p. 118-120.
75. DAT`s Beside the Point / *B. White* // Audio. 1990. Vol. 74. №2. p. 15.
76. DAT-players Sale Agreement Reached / *B. Fox* // Studio Sound. 1989. Vol. 31. №10. p. 16-17.
77. Industry Plans for DAT`s 1990 Relaunch / High Fidelity. 1990. №6. p. 6.
78. Cost of DAT - Is It Set to Tumble Soon? / High Fidelity. 1990. №8. p.7.
79. DAT at Last? / Stereo Review. 1990. №3. p. 5.
80. DAT to Congress / Stereo Review. 1990. №5. p. 5.
81. Область применения и перспективы развития DAT / *Х. Суганами* // Эрэкутороникусу Райфу. 1990. №10. с. 63-65.
82. Sound by Numbers / *S. Curtis* // Electronics World + Wireless World. 1990. Vol. 96. Sept. p. 766, 767, 770-773.
83. Стандарты цифрового звука для профессионалов / *Т. Такээгэха* // Тэрэбидзен Гаккайси. 1990. т. 44. №7. с. 915-918.
84. Fostex D20. Technical Report / *S. Wise* // Studio Sound. 1989. Vol. 31. №6. p. 98-105.
85. A Professional R-DAT Recorder / *M. Kohen* // Audio Eng. Soc. Prepr. 1988. №2743. p. 1-20.
86. Time Code in Sub Data Area of R-DAT / *H. Yamazaki et al.* // 84th AES Conv. №2589 (E1). Paris. March 1988.
87. Pro-DAT Practicality / *F. Rumsey* // Studio Sound. 1990. Vol. 32. №12. p. 59, 60, 63.
88. <http://www.okno-tv.ru/html-present/e1746.html>
89. <http://www.videon.ru/audio/Tascam/Da-60mk.html>
90. <http://www.audioscope.net/sony-dat-tcdd10proii-p-900.html>
91. Цифровой 48-канальный магнитофон DASH-формата PCM-3348 / *К. Ураяма и др.* // Хосо Гидзюцу. 1988. т. 41. №11. с. 133-139 (1065-1071).
92. Draft Specification for Professional Stationary Head Digital Audio Recording Systems. 1983. Proposed by Sony Corporation, Willy Studer, Matsushita Electric Ind. Co. Ltd., MCI.
93. DASH and Standardization of Digital Audio / *R. Lagadec, J. Takayama* // 77th AES Convention, March 5-8. 1985. Hamburg. – AES pre-print 2216 (P1).

94. Channel Coding for Digital Audio Recordings / *T.T. Doi* // *J. Audio Eng. Soc.* Vol. 31. No. 4. 1983. April. p. 224-237.
95. Adaptive Coding for Self-clocking Recording / *A. Gabor* // *IEEE Transaction on Magnetics*. 1967. Vol. 4. p. 866-868.
96. <http://www.muzoborudovanie.ru/equip/studio/mdm/m20.php>
97. <http://eastcraft.hypermart.net/equip.html>
98. <http://www.muzoborudovanie.ru/equip/studio/mdm/adat20.php>
99. <http://www.google.ru/imglanding?q=Alesis%20HD-24HR>
100. <http://www.music-expert.ru/index.php?categoryID=8285>
101. http://www.expandore.com/product/Pro_Audio/TASCAM/
102. <http://www.thalion.kiev.ua/idx.php/0/760/article/>
103. <http://www.morepc.ru/store/store090420071.html>
104. <http://compress.ru/article.aspx?id=9609&iid=405>
105. <http://ezfolk.com/inst/recording/recorders-and-cd-burners/>
106. <http://www.muzbazar.ru/shop/6939>
107. <http://ru.wikipedia.org/wiki/SSD>
108. Зи С. М. Физика полупроводниковых приборов. / Под ред. А. Ф. Трутко; Пер. с англ. – М.: Энергия, 1973. – 655 с.
109. Малин Б. В., Сонин М. С. Параметры и свойства полевых транзисторов. – М.: Энергия, 1967. – 112 с.
110. Дьяконов В. П., Максимчук А. А., Ремнев А. М., Смердов В. Ю.; Энциклопедия устройств на полевых транзисторах. / Под ред. проф. В. П. Дьяконова. – М.: СОЛОН-Р, 2002. – 512 с.
111. Дьяконов В. П. Intel. Новейшие информационные технологии. Достижения и люди. – М.: СОЛОН-Пресс, 2004. – 416 с.
112. <http://www.electrod.ru/ar532.html>
113. <http://ru.intel.com/business/community/>
114. <http://www.morepc.ru/store/st150220061.html>
115. <http://www.ixbt.com/storage/flash-tech.shtml>
116. <http://www.ispa-shop.ru/ru/cat/cat2/cat24/product33341.html>
117. <http://www.ptsys.ru/shop/info-3359.htm>
118. http://www.deep-sound.ru/pr_6823_tascam_ss_r1
119. <http://www.sony.ru/product/nws-s-series/nwz-s754>
120. <http://news.ferra.ru/hard/2010/09/06/102800/>

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Адгезия – 63
- Альфенол – 71
- Антиферромагнетик – 128
- Архитектура NAND – 150
- NOR – 149

- Барометрический фильтр – 121
- Блок вращающихся головок (БВГ) – 20, 28, 68
- данных пакета – 54

- Вентиль спиновый – 129
- Выпадение – 30

- Гермоблок – 121
- Головка магнитная магниторезистивная (MR) – 127
- монолитная – 125
- сверхмагниторезистивная (GMR) – 127
- типа MIG – 71, 125
- тонкопленочная (TF) – 125

- Деимфазис – 103
- Диод спиновый – 129
- Домен – 69, 130
- Доменный массив – 130
- Дорожка – 121

- Заголовок – 99, 101, 104
- Зазор ложный – 72

Запись азимутальная – 20
– продольная – 130
– перпендикулярная – 130
– термомагнитная – 134

Зона

– буферная – 24
– данных – 23, 122
– ИКМ – 23
– «парковки» – 119
– субкода – 24, 52
– ATF – 23

Идентификатор – 53

Имфазис – 103

Индукция магнитная – 69

– насыщения – 70
– остаточная – 70

Интервал вводный – 24

– выводной – 24

Кадр – 22

Канал пакета данных – 54

Карта памяти CF – 154

– Memory Stick – 159

– MMC – 157

– SD – 158

– SM – 155

– xD-Picture – 161

Кластер – 123

Код внешний – 32

– внутренний – 31

– данных – 52

– идентификации (ID) – 25

– назначения данных – 53

– CRCC – 99

– HDM-1 – 104

Коромысло – 119

Коэрцитивная сила – 70

Линия бит – 145

– слов – 145

Магнитная проницаемость относительная – 69
Магниторезистивный эффект – 127
Массив доменный – 130
Материал магнитомягкий – 69
– магнитотвердый – 69
– магнитный самоорганизующийся (SOMA) – 135
Метод инъекции – 145
– квантово-механического туннелирования Фаулера-Нордхейма – 145
Микширование сглаживающее – 110
Модуляция Vi-φ-M – 108

Накопитель SSD – 140, 163

Петля гистерезиса – 71
Пилот-сигнал – 74
Преимфазис – 103

Сектор данных – 99, 122
Сендаст – 71
Сигнал буферный – 24
– вводный – 24
– выводной – 24
– ATF – 23
– IBG – 24
Синхрогруппа – 24, 103, 108
Система CIC – 99
– Coprcode – 83
– SCMS – 83
– Solo Copu – 83
Слой обменный – 128
– проводящий – 127
– свободный – 127
– фиксирующий – 128
– чувствительный – 127
Состояние однодоменное – 131
– насыщения – 70
Спин – 128
Стенка доменная – 128

Таблица размещения файлов (FAT) – 123
Транзистор полевой – 142
– с плавающим затвором – 143

Файловая система – 123
Ферромагнетик – 69
Фильтр барометрический – 121
– рециркуляции – 121
Форматирование логическое – 123
– физическое – 123
Функция логическая – 46

Цилиндр – 122

Шум модуляции – 30

Эффект магниторезистивный – 126
– суперпарамагнитный – 131

Ячейка памяти двухтранзисторная – 146
– многоуровневая (MLC) – 148
– одноуровневая (SLC) – 148
– flash SSD – 140
– RAM SSD – 140
– SST – 147

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	3
Введение.....	5
1. История цифровой магнитной звукозаписи.....	11
2. R-DAT.....	17
2.1. Описание формата.....	17
2.2. Основное содержание информации, записываемой на ленту, и принципы ее размещения на дорожках.....	21
2.3. Построение магнитофона R-DAT.....	26
2.4. Система защиты от ошибок.....	30
2.4.1. Коды Рида-Соломона. Способ задания.....	31
2.4.2. Перемежение данных.....	32
2.4.3. Помехоустойчивое кодирование субданных.....	42
2.5. Канальное кодирование.....	45
2.6. Служебная информация.....	51
2.7. DAT-кассета.....	59
2.7.1. Конструкция DAT-кассеты.....	60
2.7.2. Магнитная лента DAT.....	62
2.8. Лентопротяжный механизм.....	65
2.9. Магнитные головки.....	69
2.10. Система автотрекинга.....	73
2.11. Особенности воспроизведения высокоплотной цифровой магнитной записи.....	79
2.12. Цифровое копирование фонограмм с помощью магнитофона R-DAT.....	82
2.13. Некоторые особенности применения формата R-DAT в профессиональной сфере.....	86
2.13.1. Контроль качества фонограмм в процессе записи.....	87
2.13.2. Функция электронного редактирования.....	87

2.13.3. Запись временного кода.....	90
2.13.4. Синхронизация.....	91
2.13.5. Другие функции.....	91
2.14. Образцы DAT-магнитофонов.....	92
3. DASH.....	95
3.1. Общая характеристика формата.....	95
3.2. Структура данных в формате DASH.....	99
3.3. Модуляция.....	104
3.4. Канал управления.....	107
3.5. Особенности коррекции ошибок в формате DASH.....	109
4. Магнитофоны форматов ADAT и DTRS.....	112
4.1. ADAT.....	113
4.2. DTRS.....	116
5. HDD-рекордеры.....	118
5.1. Конструкция HDD-накопителя.....	118
5.2. Физическая и логическая структуры HDD-накопителя.....	121
5.3. Магнитные головки для записи информации на жесткий диск.....	125
5.4. Технологии записи на магнитные диски.....	130
5.4.1. Продольная запись.....	130
5.4.2. Перпендикулярная запись.....	131
5.4.3. Перспективные технологии магнитной записи.....	133
5.5. Особенности HDD-рекордеров.....	137
6. SSD-накопители.....	140
6.1. Общая характеристика и история появления.....	140
6.2. Ячейки памяти flash-накопителей.....	142
6.2.1. Обычный полевой транзистор.....	142
6.2.3. Двухтранзисторная ячейка.....	146
6.2.4. Ячейка SST.....	147
6.2.5. Ячейки SLC и MLC.....	148
6.3. Основные архитектуры flash-SSD.....	149
6.4. Преимущества и недостатки SSD-накопителей в сравнении с жесткими дисками.....	151
6.4.1. Преимущества.....	151
6.4.2. Недостатки.....	153
6.5. Типы SSD-накопителей.....	154
6.5.1. Flash-карты.....	154
6.5.2. Компьютерные SSD-накопители.....	163
6.5.3. USB flash-накопители.....	164
6.5.4. Flash-рекордеры.....	166
6.5.5. Flash-плееры MP3/MP4.....	168
Литература.....	169

Предметный указатель.....	175
---------------------------	-----