

УДК 621.397.36

Канд. техн. наук В. Б. Иванов и инженер Д. Г. Кац

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ СПЕКТРА
ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ
ЧЕТКОСТИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИ МАГНИТНОЙ
ЗАПИСИ НА ПРОСТЫХ ВИДЕОМАГНИТОФОНАХ**

Рассмотрено преобразование телевизионных сигналов с большой межкадровой корреляцией, основанное на принципах точечного раstra, с учетом особенностей магнитной записи на простых видеомагнитофонах с ограниченной полосой частот. Дано краткое описание функциональной схемы устройства и его работы. Показано, что использование такого устройства дает почти двухкратное повышение четкости изображения, воспроизведенного видеомагнитофоном.

Решение проблемы повышения плотности магнитной записи электрических сигналов остается важнейшей задачей, которая еще находится в стадии разрешения. Основным практическим путем реализации записи широкополосных телевизионных сигналов пока остается запись при больших скоростях передвижения головки относительно ленты. Это приводит к значительным усложнениям лентопротяжных механизмов, к использованию специальных систем вращающихся магнитных головок и устройств для направления движения ленты.

В получивших широкое распространение простых видеомагнитофонах с одной или двумя вращающимися головками и неподвижным направляющим барабаном обычно скорость записи не превышает 20—22 м/сек, так как при больших величинах неизбежно возрастает диаметр направляющего барабана [1], увеличиваются общие размеры аппарата и его вес, а также растет расход магнитной ленты. Естественно, что при пониженной скорости ограничивается полоса частот воспроизводимого сигнала, которая для видеомагнитофона небольших размеров обычно составляет 2,5—3,0 Мгц. Четкость телевизионного изображения по горизонтали соответственно не будет превышать 250—300 строк, что в ряде случаев может оказаться недостаточным.

Поэтому представляет определенный интерес попытка достигнуть увеличения четкости изображения по горизонтали путем электрических преобразований видеосигнала перед записью и в процессе воспроизведения за счет использования некоторых особенностей сигнала и в первую очередь

большого значения функции межкадровой корреляции для большинства сюжетов, с которыми работают многокадровые телевизионные системы. Последнее обстоятельство дает возможность передавать в каждом кадре только половину всех элементов, составляющих поле изображения, а введение межэлементного перемежения в соседних кадрах позволяет получить при визуальном наблюдении полное число элементов изображения, воспринимаемых зрителем. Иначе говоря, в этом случае возможно увеличить время передачи каждого элемента изображения в одном кадре вдвое. Такой принцип уплотнения канала передачи телевизионных изображений вследствие точечной структуры поля полученного изображения был назван методом точечного раstra [2].

Для получения такого раstra используется несущая, фаза которой меняется на обратную от строки к строке и от кадра к кадру. Этому требованию отвечает несущая, равная нечетному кратному половины строчной частоты $f_{\text{стр}}$:

$$f_{\text{n}} = (2n + 1) \frac{f_{\text{стр}}}{2}.$$

Обычно несущая выбирается равной наивысшей частоте спектра видеосигнала $F_{\text{в}}$ или несколько больше. Необходимо также, чтобы $f_{\text{n}} = 2F_{\text{c}}$ (где F_{c} — верхняя граничная частота полосы пропускания канала передачи сигнала, в нашем случае — устройства записи); в противном случае возникают частотные искажения.

Преобразование спектра сигнала при использовании точечного раstra

Рассмотрим этот принцип с точки зрения преобразования спектра, что важно при использовании его в технике магнитной видеозаписи.

Для простоты будем считать, что сигнал, подлежащий записи, состоит из двух компонентов:

$$b = B_1 \cos 2\pi F_1 t + B_2 \cos 2\pi F_2 t. \quad (1)$$

Частота F_1 расположена внутри полосы пропускания устройства магнитной записи F_{c} ($0 < F_1 < F_{\text{c}}$), а частота F_2 — в высокочастотной части спектра видеосигнала и находится за пределами полосы пропускания ($F_{\text{c}} < F_2 < F_{\text{в}}$).

При модуляции этим сигналом напряжения несущей $A \cos 2\pi f_{\text{n}} t$ на выходе модулятора получается сумма входного сигнала и амплитудно-модулированной несущей. Поскольку $F_{\text{в}} \approx f_{\text{n}}$, то спектры модулирующего сигнала и нижней боковой полосы промодулированной несущей перекрываются.

Итак, на выходе модулятора во время первого кадра получается сигнал

$$a_1 = B_1 \cos 2\pi F_1 t + B_2 \cos 2\pi F_2 t + A (1 + m_1 \cos 2\pi F_1 t + m_2 \cos 2\pi F_2 t) \cos 2\pi f_{\text{n}} t, \quad (2)$$

а во время второго кадра

$$a_2 = B_1 \cos 2\pi F_1 t + B_2 \cos 2\pi F_2 t + A (1 + m_1 \cos 2\pi F_1 t + m_2 \cos 2\pi F_2 t) \cos (2\pi f_{\text{n}} t + \pi), \quad (3)$$

где $m_1 = \frac{B_1}{A}$ и $m_2 = \frac{B_2}{A}$. (3a)

После соответствующих преобразований выражений (2) и (3) и исключения из них компонентов, которые не пропускаются устройством магнитной записи, получаем сигнал, записываемый на ленту, во время первого кадра

$$a'_1 = B_1 \cos 2\pi F_1 t + \frac{Am_2}{2} \cos 2\pi (f_h - F_2) t, \quad (4)$$

а во время второго кадра

$$a'_2 = B_1 \cos 2\pi F_1 t + \frac{Am_2}{2} \cos [2\pi (f_h - F_2) t + \pi]. \quad (5)$$

После воспроизведения сигналы, описываемые формулами (4) и (5), подаются на синхронный детектор, на который поступает также несущая f_h . Тогда сигнал на выходе синхронного детектора во время первого кадра

$$\begin{aligned} c_1 = & B_1 \cos 2\pi F_1 t + \frac{Am_2}{2} \cos 2\pi (f_h - F_2) t + A \cos 2\pi f_h t + \\ & + \frac{Am_1}{2} \cos 2\pi (f_h + F_1) t + \frac{Am_1}{2} \cos 2\pi (f_h - F_1) t + \\ & + \frac{Am_3}{2} \cos 2\pi (2f_h + F_2) t + \frac{Am_3}{2} \cos 2\pi F_2 t, \end{aligned} \quad (6)$$

во время второго кадра

$$\begin{aligned} c_2 = & B_1 \cos 2\pi F_1 t + \frac{Am_2}{2} \cos [2\pi (f_h - F_2) t + \pi] + A \cos (2\pi f_h t + \pi) + \\ & + \frac{Am_1}{2} \cos [2\pi (f_h + F_1) t + \pi] + \frac{Am_1}{2} \cos [2\pi (f_h - F_1) t + \pi] + \\ & + \frac{Am_3}{2} \cos [2\pi (2f_h - F_2) t + 2\pi] + \frac{Am_3}{2} \cos (2\pi F_2 t + 2\pi), \end{aligned} \quad (7)$$

$$\text{где } m_3 = \frac{1}{A} \frac{Am_2}{2} = \frac{m_2}{2}. \quad (7a)$$

Сигналы c_1 и c_2 поочередно, через кадр, поступают на просмотровое устройство.

Рассмотрим воспроизведение сигналов при визуальном наблюдении на экране просмотрового устройства, учитывая инерционность зрения, позволяющую суммировать компоненты сигналов по крайней мере двух соседних кадров, представленных формулами (6) и (7).

В этом случае:

- сумма 1-х членов c_1 и c_2 равна $2B_1 \cos 2\pi F_1 t$,
- сумма 2, 3, 4 и 5-х членов равна 0,
- сумма 6-х членов равна $Am_3 \cos 2\pi (2f_h - F_2) t$,
- сумма 7-х членов равна $Am_3 \cos 2\pi F_2 t$.

Шестые члены представляют собой компоненты, которые подавляются в ВКУ, так как

$$(2f_h - F_2) > F_v.$$

Таким образом, на экране будет наблюдаться изображение, создаваемое сигналом

$$d = 2B_1 \cos 2\pi F_1 t + Am_3 \cos 2\pi F_2 t,$$

или, принимая во внимание соотношения (3a) и (7a) и учитывая, что

$$Am_3 = \frac{Am_2}{2} = \frac{B_2}{2},$$

$$d = 2 \left(B_1 \cos 2\pi F_1 t + \frac{B_2}{4} \cos 2\pi F_2 t \right). \quad (8)$$

Таким образом, амплитуда составляющей F_2 , лежащей в полосе $F_c < F_2 < F_b$, в воспроизведенном сигнале, соответствующем выражению (8), будет в четыре раза меньше, чем в исходном сигнале, описываемом формулой (1), при неизменной амплитуде составляющей F_1 .

Очевидно, что для получения исходного сигнала необходимо обеспечить четырехкратный подъем частотной характеристики в области частот от F_c до F_b .

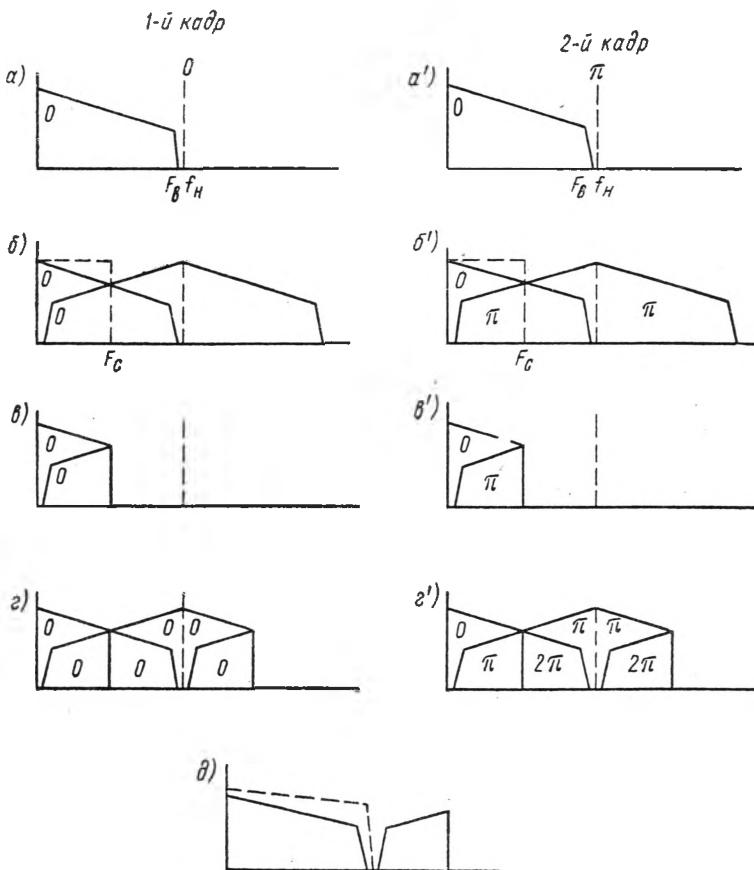


Рис. 1. Спектральные диаграммы в устройстве точечного растра

а, а' — спектры исходного сигнала в 1 и 2-м кадрах соответственно; б, б' — спектры сигналов на выходе модулятора; в, в' — спектры сигналов, поступающих на запись; г, г' — спектры сигналов на выходе синхронного детектора; д) суммарный спектр сигналов на входе ВКУ

Графически процесс преобразования спектра видеосигнала в устройстве точечного растра показан на спектральных диаграммах (рис. 1), где значения фаз спектральных составляющих отмечены 0 и π.

Запись несущей на ленту

Для неискаженного воспроизведения сигнала точечного растра необходимо, чтобы временное расположение воспроизведенного видеосигнала и несущей сохранялось таким же, как и при записи. Поэтому из-за неизбежной нестабильности скорости перемещения головки относительно ленты в видеомагнитофоне запись несущей на ленту должна осуществляться

одновременно с основным ЧМ-сигналом одной и той же головкой. Для того чтобы несущая и ЧМ-сигнал не создавали взаимных помех, несущая должна располагаться вне спектра частот, занимаемых ЧМ-сигналом, и уровень ее должен быть минимальным, но достаточным для последующего выделения.

В полосе пропускания канала «запись — воспроизведение» ЧМ-сигнала имеются два участка, пригодных для записи несущей (рис. 2): участок, расположенный выше области девиации, и участок, расположенный левее нижней боковой ЧМ-сигнала.

Для использования первого участка необходимо освободить его (по крайней мере, в области частоты несущей) от составляющих верхней боковой полосы ЧМ-сигнала и, для получения приемлемой амплитуды несущей, вести запись несущей током, соизмеримым с током записи ЧМ-сигнала.

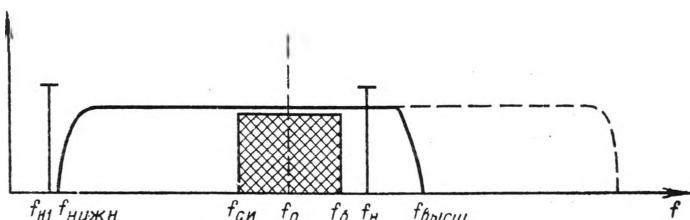


Рис. 2. Частотный спектр ЧМ-сигнала, записываемого на ленту

f_n — несущая сигнала точечного растра, f_{n1} — вспомогательная несущая сигнала точечного растра, записываемая на ленту, f_0 — средняя частота ЧМ-сигнала, $f_{с1}$ — частота ЧМ-сигнала, соответствующая уровню синхронизирующих импульсов, f_b — частота ЧМ-сигнала, соответствующая уровню «белого», $f_{высш}$ — максимальная частота, записываемая на ленту, $f_{нижн}$ — минимальная частота спектра ЧМ-сигнала

нала, поскольку отдача головки в этой области частот довольно мала; последнее затрудняет разделение несущей и ЧМ-сигнала при воспроизведении.

Для записи несущей на втором участке ее необходимо предварительно перенести вниз по частоте. На этом участке отдача головки велика. Более того, ток записи ЧМ-сигнала в данном случае является током подмагничивания для сигнала перенесенной вниз по частоте несущей f_{n1} , в дальнейшем называемом вспомогательной. Поэтому ток записи вспомогательной несущей может быть взят в несколько раз меньше тока записи ЧМ-сигнала, чем значительно облегчается разделение несущей и ЧМ-сигнала при воспроизведении. Само собой разумеется, что для использования несущей в синхронном детекторе она должна быть вновь транспонирована вверх до исходного значения ее частоты. Таким образом, целесообразнее записывать вспомогательную несущую на участке частот левее нижней боковой ЧМ-сигнала.

Для того чтобы при записи не возникали биения между ЧМ-сигналом и вспомогательной несущей, последнюю нужно вводить непосредственно в головку, минуя каскады усиления ЧМ-сигнала, в которых имеются нелинейные элементы.

При работе макета устройства преобразования совместно с видеомагнитофоном «Малахит» несущая вводилась в головку и снималась с нее через катушку связи настроенного на частоту f_{n1} последовательного резонансного контура, подключенного параллельно первичной неподвижной обмотке вращающегося трансформатора (рис. 3). Для защиты канала усиления воспроизводимого ЧМ-сигнала во входную цепь усилителя воспроизведения введен параллельный контур.

Особое внимание следует обратить на фильтр, служащий для выделения частоты f_{n1} при воспроизведении. Так как фазовый сдвиг, создава-

мый последовательным контуром в полосе пропускания зависит от частоты, то изменения величины $f_{\text{н1}}$, вызванные нестабильностью скорости перемещения ленты относительно головки, приводят к изменениям фазы несущей, поступающей на синхронный детектор. Это является причиной частотных искажений в области высоких частот воспроизведенного видеосигнала.

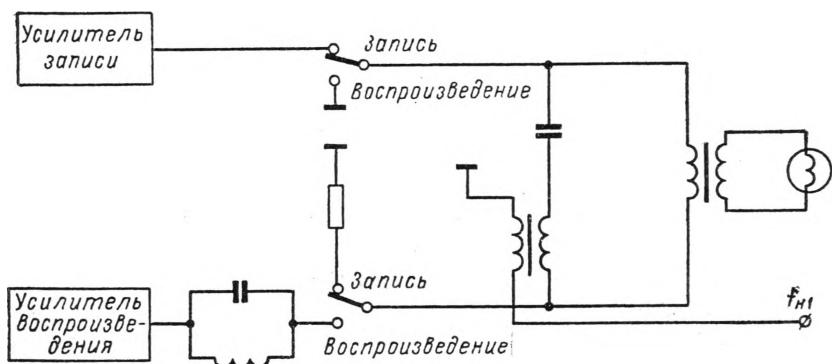


Рис. 3. Схема ввода в головку видеомагнитофона «Малахит» вспомогательной несущей частоты $f_{\text{н1}}$ при записи и съема ее при воспроизведении

сигнала. Для уменьшения фазовой нестабильности необходимо ввести коррекцию, которая может быть осуществлена либо фазокорректирующим фильтром, либо с помощью схемы самосинхронизирующегося контура [3].

Устройство преобразования телевизионных сигналов

Для проверки изложенных выше принципов построения системы преобразования телевизионного сигнала по методу точечного растра с учетом специфических особенностей простых видеомагнитофонов был изготовлен лабораторный макет устройства в виде приставки.

Рассмотрим блок-схему приставки (рис. 4), рассчитанной на работу с видеомагнитофоном «Малахит».

Видеосигнал, подлежащий записи, поступает на селектор 1 и через ФНЧ 19 ($F_{\text{в}} = 4,5 \text{ МГц}$) и корректор 18 подается на один из входов балансного модулятора 17.

Фильтр нижних частот ограничивает высшую частоту видеосигнала. Корректор дает четырехкратный подъем частотной характеристики в области частот от $F_{\text{с}}$ до $F_{\text{в}}$. Без корректора коэффициент передачи всего тракта преобразования на этих частотах, как указывалось выше, из-за двухкратного подавления верхней боковой и при модуляции, и при синхронном детектировании оказался бы в четыре раза меньше, чем на частотах от 0 до $F_{\text{с}}$.

На другой вход балансного модулятора подается напряжение несущей частоты. Модулированный сигнал проходит через ФНЧ 16 (в видеомагнитофоне «Малахит» нет входного фильтра) и выходной усилитель 15 на видеомагнитофон.

Из видеосигнала, поступившего на селектор 1, выделяется синхросигнал, из которого в свою очередь, с помощью селектора 2, выделяются импульсы строчной частоты. Частота этих импульсов делится на два делителем 3 и затем частота $\frac{f_{\text{стр}}}{2}$ умножается генератором ударного возбуждения 4 в 59 раз. Полученная частота $f_{\text{н1}} = 59 \frac{f_{\text{стр}}}{2} = 460\,937,5 \text{ Гц}$ является вспомогательной несущей, записываемой на ленту. Напряжение этой час-

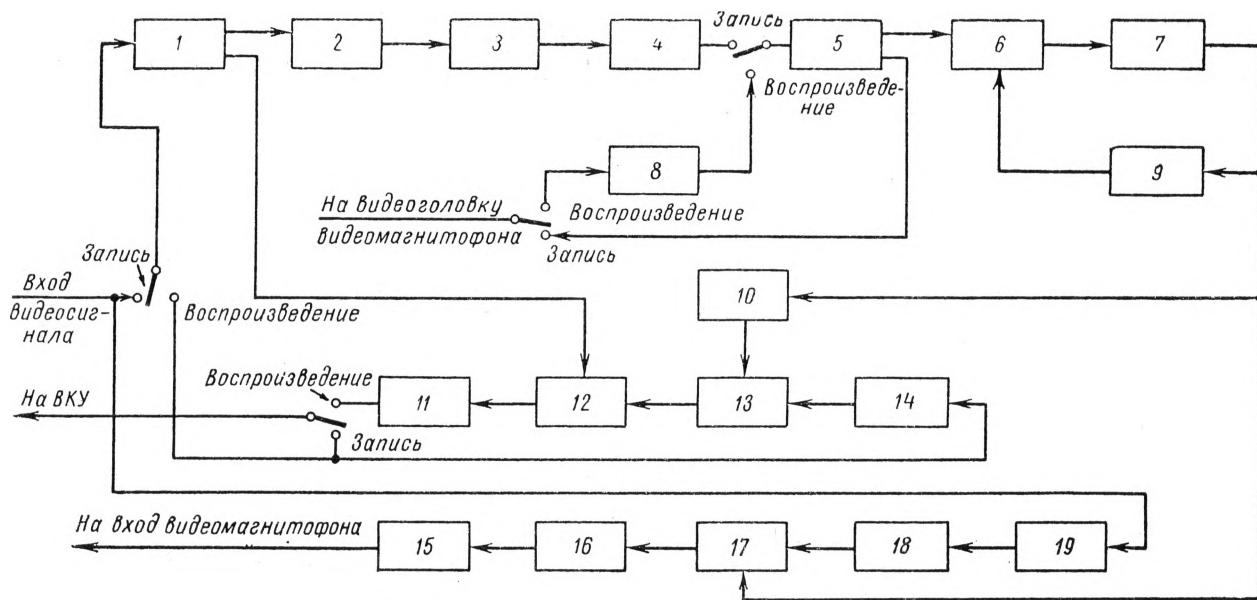


Рис. 4. Блок-схема приставки

1 — селектор синхронимпульсов, 2 — селектор строчных импульсов, 3 — делитель на 2, 4 — генератор ударного возбуждения, 5 — ограничитель, 6 — фазовый детектор, 7 — генератор несущей, 8 — усилитель воспроизведения вспомогательной несущей, 9 — делитель на .11,10 — фазовращатель, 11 — выходной усилитель воспроизведения, 12 — линейный усилитель, 13 — синхронный детектор, 14 — входной усилитель записи, 15 — выходной усилитель записи, 16 — ФНЧ с $F_c = 2,5$ Мгц, 17 — балансный модулятор, 18 — корректор, 19 — ФНЧ с $F_B = 4,5$ Мгц

тоты проходит через ограничитель 5 и поступает на запись и на схему получения несущей частоты. Несущая частота получается умножением частоты вспомогательной несущей на 11: $f_n = 649 \frac{f_{\text{стр}}}{2} = 5\ 070\ 312,5 \text{ гц}$. Это умножение производится с помощью управляемого генератора несущей и схемы автоматической подстройки его частоты и фазы (АПЧФ). На фазовый детектор 6 схемы АПЧФ подаются напряжения вспомогательной несущей и поделенной с помощью делителя 9 на 11 частоты генератора несущей 7. Таким образом, частота и фаза несущей оказываются жестко связанными с частотой и фазой $\frac{f_{\text{стр}}}{2}$.

Эта схема умножения используется и при воспроизведении для восстановления несущей. В этом режиме воспроизведенная вспомогательная

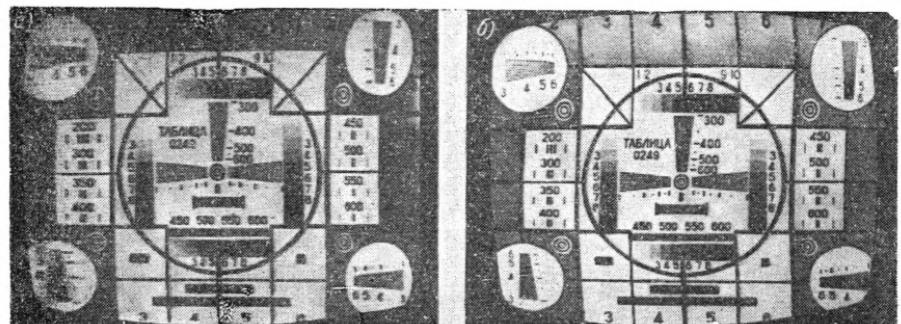


Рис. 5. Изображение испытательной таблицы, воспроизведенное магнитофоном «Малахит» без использования точечного растра (а) и с использованием точечного растра (б)

несущая после усиления 8 и ограничения служит опорной частотой для схемы АПЧФ.

При воспроизведении сигнал с видеомагнитофона через усилитель 14 поступает на вход синхронного балансного детектора 13.

На другой вход этого детектора через фазовращатель 10 подается напряжение несущей частоты. Фазовращатель введен для подстройки начальной фазы поднесущей при воспроизведении, так как постоянное время задержки сигнала в каждом конкретном экземпляре видеомагнитофона трудно учесть. Через линейный усилитель 12 и выходной усилитель 11 видеосигнал подается на ВКУ, на экране которого получается изображение с точечным растром. В линейном усилителе в этот сигнал вводятся синхроимпульсы, выделенные селектором 1 из воспроизводимого видеосигнала. Это сделано для улучшения синхронизации ВКУ.

Экспериментальная проверка макета системы преобразования осуществлялась с использованием одного из первых образцов видеомагнитофона «Малахит», пропускающего полосу частот по видеоканалу до 2,5 Мгц и имеющего максимальную временную нестабильность сигнала в пределах 80—100 мксек за несколько кадров. В качестве сигнала применялся телевизионный сигнал испытательной таблицы 0249 от моноскопного датчика, который поступал на вход системы, как было указано, через ФНЧ с полосой пропускания до 4,5 Мгц.

В изображении таблицы 0249, полученным на экране просмотрового устройства при работе системы преобразования (рис. 5 б), фактическая четкость равна 450 строкам. Видимые же линии на отметках «500», «550» и «600» одинаковы, что обусловлено точечной структурой растра, определяемой частотой несущей (около 5,07 Мгц).

При правильной настройке элементов системы, определяющих исходные фазовые соотношения видеосигнала и вспомогательной несущей, воспроизведение телевизионного изображения с точечной структурой растра было достаточно стабильным благодаря действию автоподстройки частоты генератора несущей.

Заключение

Выполненное исследование показывает, что для повышения четкости телевизионных изображений с большой межкадровой корреляцией при записи и воспроизведении их на простых видеомагнитофонах возможно использование методов преобразования телевизионных сигналов, основанных на принципах точечного растра.

Необходимым условием для реализации этих принципов в устройствах магнитной видеозаписи является запись вспомогательной несущей на тот же магнитоноситель, на котором записывается и основной видеосигнал, и использование этой несущей в качестве опорного сигнала для формирования точечного растра в режиме воспроизведения.

Для поддержания необходимых фазовых соотношений при неизбежной в видеомагнитофонах временной нестабильности в системе преобразования должны быть предусмотрены соответствующие элементы для автоматической корректировки фазовых сдвигов.

При упрощенных способах формирования несущей с заданными фазовыми соотношениями относительно строчных импульсов синхронизации, в частности при помощи генератора с ударным возбуждением, требуется такая стабильность самих импульсов, которая обеспечивается, когда синхрогенератор работает в кварцевом режиме. При работе синхрогенератора в режиме привязки к питающей сети стабильность строчных импульсов может быть недостаточной для устойчивой работы системы формирования несущей.

Благодаря тому, что изложенный выше способ преобразования телевизионного сигнала не требует по существу сколько-нибудь значительных изменений в видеомагнитфоне и может быть реализован в виде дополнительного устройства — приставки, он может оказаться полезным в ряде случаев практического применения простых видеомагнитфонов, когда примерно двукратное повышение четкости воспроизводимого изображения является необходимым условием.

Изложенные здесь технические решения, обеспечивающие запись вспомогательной поднесущей в одном канале с основным видеосигналом, могут найти также применение для целей корректировки с большой точностью временных искажений, возникающих в процессе магнитной записи и воспроизведения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов В. Б. О построении простых видеомагнитофонов и их характеристиках. «Вопросы радиоэлектроники». Сер. «Техника телевидения», 1967, вып. 1, стр. 26.
2. Денисенко И. Н. Применение точечного растра в телевизионных системах. Кандидатская диссертация. Л., ЛЭИС, 1953.
3. Виницкий А. С. Модулированные фильтры и следящий прием ЧМ. М., «Сов. радио», 1969.

Статья поступила 9 июля 1970 г.