

УДК 621.397.36

Канд. техн. наук В. Б. Иванов

**ОБ ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УСТРОЙСТВ
МАГНИТНОЙ ЗАПИСИ АНАЛОГОВЫХ
ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИГНАЛОВ**

Вводится понятие эффективности устройств магнитной записи (УМЗ) аналоговых телевизионных сигналов на основе оценки количества и качества воспроизведимой информации и использованной площади магнитоносителя. Выведены формулы для расчета показателя эффективности с учетом влияния временных искажений. Приведены сравнительные данные эффективности различных УМЗ, работающих по принципу наклонно-строчной и продольной записи.

В состав многих современных телевизионных систем входят устройства магнитной записи (УМЗ) для консервации получаемой телевизионной информации и последующего одно- или многократного ее воспроизведения. Задача разработчика — выбрать или создать такое УМЗ, которое способно записать максимальное количество телевизионной информации и обеспечить ее высококачественное воспроизведение при минимальном расходе магнитоносителя — магнитной ленты. Эту способность следует считать эффективностью УМЗ, характеризующей не только степень технического совершенства устройства, но и его экономические и эксплуатационные преимущества. Несмотря на очевидную практическую важность этого параметра, в литературе почти нет материалов, посвященных рассмотрению данного вопроса. Нам известна лишь одна работа [1], в которой впервые было введено понятие поверхностной плотности записи, а сигнал характеризовался параметрами, принятыми в теории связи. Однако в трактовке данной работы понятие поверхностной плотности не является показателем эффективности УМЗ, поскольку оно не учитывает качественные характеристики воспроизводимого телевизионного сигнала.

При воспроизведении магнитограммы возникают весьма специфические для УМЗ искажения телевизионного изображения, обусловленные временной неточностью процесса воспроизведения, которые приводят к снижению качества изображения, а зачастую и к потере части визуально воспринимаемой информации. Более того, при увеличении плотности магнитной записи проявляется тенденция к возрастанию временной неточности или временных искажений. Это связано с уменьшением

геометрических размеров магнитограммы, соответствующей одному элементу телевизионного изображения, при неизменной абсолютной величине неточности движения магнитной ленты относительно головки.

С точки зрения качества воспринимаемой телевизионной информации в аналоговых системах важную роль играет также параметр «отношение сигнал/шум», который ограничивает возможность передачи градаций яркости и маскирует мелкие детали изображения.

Поэтому при оценке эффективности УМЗ помимо поверхностной плотности записи необходимо учитывать по крайней мере упомянутые выше два показателя, характеризующие качество, — временные искажения и отношение сигнал/шум.

Количественно эффективность УМЗ целесообразно определить как отношение показателя количества и качества воспроизведенной телевизионной информации P_{kk} к площади магнитной ленты S , на которой записана эта информация.

Таким образом, исходное выражение показателя эффективности УМЗ:

$$\eta = \frac{P_{kk}}{S}. \quad (1)$$

С точки зрения теории информации количество информации, передаваемое системой, определяется шириной полосы пропускаемых частот и числом передаваемых уровней. Последнее зависит только от динамического диапазона и уровня собственных шумов системы и практически лимитируется отношением сигнал/шум, которое мы отнесли к качественным характеристикам. Потеря информации, связанная воздействию шумов, — невозратимая утрата, поскольку никакими методами коррекции или обработки восстановить ее невозможно.

Второй качественный показатель — временные искажения. С этим показателем связаны визуально наблюдаемые искажения телевизионного изображения при воспроизведении сигнала с УМЗ, часто, как уже упоминалось, приводящие к потере визуально воспринимаемой информации. Однако с позиций теории информации эти искажения не приводят к невозвратимой утрате информации, содержащейся в воспроизведенном сигнале, так как обработка этого сигнала известными методами временной коррекции в принципе позволяет полностью устраниить искажения. Правда, здесь следует отметить, что в некоторых УМЗ с частотной модуляцией [2] временные искажения, имеющие высокочастотный характер, например из-за упругих продольных колебаний магнитной ленты, приводят к возникновению шумов. В этом случае искажения не проявляются в виде нарушения геометрии изображения и автоматически учитываются в параметре «отношение сигнал/шум».

Следовательно, целесообразно числитель в формуле (1) представить в виде соотношения

$$P_{kk} = \frac{I}{K_T}, \quad (2)$$

где I — количество информации, воспроизведенной УМЗ,

K_T — коэффициент временных искажений.

Как известно [3], количество информации, пропускаемое системой:

$$I = 2\Delta F T \log_2 m, \quad (3)$$

где ΔF — полоса пропускаемых частот,

T — время передачи (воспроизведения),

m — число передаваемых уровней.

Аналоговый сигнал, пропущенный через систему с шумами, с точки зрения передачи уровней можно рассматривать по существу как дискретный сигнал, у которого величина дискрета определяется некоторым средним размахом напряжения шума, позволяющим с достаточной степенью вероятности отнести заданный участок сигнала к определенному уровню (рис. 1).

Исходя из этого:

$$m = 1 + \frac{U_c}{U_{\text{ш}}}, \quad (4)$$

где U_c — размах напряжения сигнала,

$U_{\text{ш}}$ — среднее значение размаха напряжения шума.

В практической работе при расчете и измерениях телевизионных систем обычно используется не отношение размахов сигнала и шума,

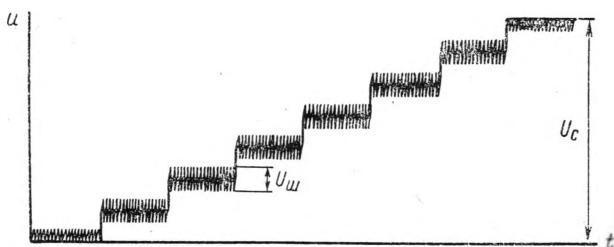


Рис. 1. Вид телевизионного сигнала градаций яркости при воздействии на него шумов

а отношение размаха сигнала к эффективному значению шума. Обычно считают отношение среднего значения размаха шума к его эффективному значению $U_{\text{ш,эфф}} \approx 5 \div 6$. Хотя это и не является строго доказанным, но в большинстве практических случаев оказывается достаточно правильным.

Принимая $U_{\text{ш}} = 5U_{\text{ш,эфф}}$ и обозначив $\xi = U_c/U_{\text{ш,эфф}}$, согласно выражению (4), получим:

$$m = 1 + \frac{\xi}{5}.$$

Подставив это соотношение в формулу (3), найдем выражение количества информации в следующем виде:

$$I = 2 \Delta F T \log_2 \left(1 + \frac{\xi}{5} \right). \quad (5)$$

Поскольку здесь основанием логарифма является 2, количество информации, рассчитанное по этой формуле, получается в двоичных единицах.

Перейдем теперь к определению коэффициента временных искажений. Геометрические нарушения поля изображения, вызванные временными искажениями УМЗ, довольно многообразны и зависят от конкретных причин, из-за которых возникли сами временные искажения. Характер их в большой степени зависит от системы видеозаписи. Так, в УМЗ с вращающимися магнитными головками при записи одной головкой целого поля изображения геометрические искажения визуально вообще незаметны, а в УМЗ с записью одной головкой лишь части поля изображения нередко присутствуют заметные искажения. При воспроизведении телевизионного изображения УМЗ с четырьмя вращающимися головками в случае нарушения регулировки или износа элементов видеоблока возникают хорошо известные, часто наблюдаемые так называемые зубчиковые

искажения, период которых равен 16 строкам, если сигнал соответствует отечественному телевизионному стандарту (рис. 2а). При этом каждая из головок воспроизводит лишь часть поля, соответствующую 16 строкам. На рис. 2б показана часть края раstra при воспроизведении сигнала УМЗ с продольной записью (с неподвижной магнитной головкой), когда частота временных искажений много ниже частоты строк, а на рис. 2в — когда частота этих искажений равна четверти частоты строк.

Последний случай — самый неблагоприятный с точки зрения восприятия визуальной информации, так как здесь соседние строки имеют и максимальное смещение друг относительно друга, и частое изменение направления смещения. В этом случае даже смещение строк на один элемент вызовет потерю восприятия наиболее мелких деталей из-за полного

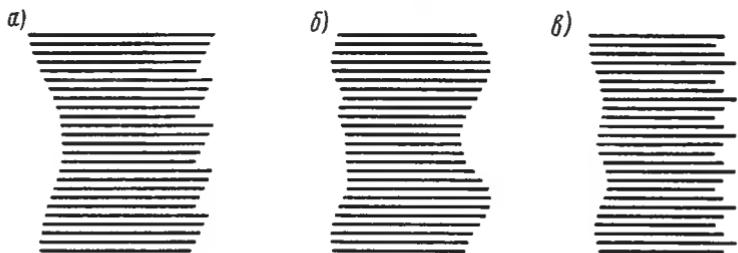


Рис. 2. Краевые участки полей телевизионного изображения при наличии временных искажений

а — зубчиковые искажения в системе наклонно-строчной записи с четырьмя головками, б — искажения в системе продольной записи при $f_\alpha \ll f_{\text{стр}}$.

в — то же при $f_\alpha = \frac{1}{4} f_{\text{стр}}$

разрушения их структуры. При более медленных временных искажениях (рис. 2б) будет наблюдаться некоторое искажение конфигурации крупных деталей, но не будет явного разрушения их структуры и, следовательно, воспринимаемой визуальной информации будет нанесен значительно меньший ущерб.

Представляет интерес еще один случай, когда частота временных искажений равна или почти равна частоте строк. При таком соотношении частот искажения практически не будут заметны, так как строки приобретут одинаковые искажения и расположатся точно одна под другой. При незначительном расхождении частот визуально искажения будут наблюдаться как соответствующие разности этих частот.

Высказанные здесь соображения должны быть приняты во внимание при количественном определении коэффициента временных искажений. Рассмотренные частотные особенности искажений хотя и имеют очень большое значение, но все же не являются главной характеристикой этих искажений. Очевидно, что основной характеристикой, свидетельствующей о степени совершенства конкретного УМЗ, является абсолютная максимальная величина создаваемых им временных искажений. Практически удобнее всего эту величину выражать числом телевизионных элементов n .

Согласно формуле (2), коэффициент K_T должен быть больше единицы, поскольку временные искажения могут являться причиной лишь уменьшения количества воспринимаемой информации, а $P_{\text{кк}} \leq 1$. Принимая во внимание это обстоятельство, можно предложить следующее исходное соотношение для коэффициента временных искажений:

$$K_{T \text{ исх}} = 1 + \alpha n \left(1 - \frac{f_\alpha}{f_{\text{стр}}} \right) \quad \text{при } f_\alpha \leq f_{\text{стр}}, \quad (6)$$

где α — количественный коэффициент,

f_a — частота временных искажений,

$f_{\text{стр}}$ — строчная частота воспроизведенного сигнала.

В этой формуле учтены все особенности, которые были обсуждены выше. Коэффициент α определим из условия, что при максимальном смещении соседних строк на один элемент, когда $f_a = \frac{1}{4} f_{\text{стр}}$, примерно вдвое падает визуально наблюдаемая четкость изображения и соответственно вдвое должно увеличиться значение $K_{T \text{ исх}}$ по сравнению с неискаженным

воспроизведением. Иначе говоря, $2 = 1 + \alpha \cdot 1 \left(1 - \frac{\frac{1}{4} f_{\text{стр}}}{f_{\text{стр}}} \right)$, откуда $\alpha = \frac{4}{3}$.

Формула (6) достаточно полно описывает количественную сторону оценки временных искажений, имеющих регулярный характер и определяемых конструкцией и исполнением конкретных УМЗ, но обладает тем недостатком, что при использовании УМЗ в различных телевизионных системах с разным числом элементов в строке оценка УМЗ будет произведена не в одинаковых условиях, что затрудняет сопоставление таких устройств. Для устранения отмеченного недостатка целесообразно при определении $K_{T \text{ исх}}$ в любых УМЗ, работающих с различным числом элементов в строке, делать пересчет к системе с 1000 элементами в строке.

Сделав это и учитя $\alpha = \frac{4}{3}$, получим окончательное выражение:

$$K_T = 1 + \frac{4}{3} n \left(1 - \frac{f_a}{f_{\text{стр}}} \right) \frac{1000}{N}, \quad (7)$$

где N — число элементов в строке.

Площадь магнитной ленты, которая использована для записи телевизионной информации и служебных сигналов, необходимых для работы УМЗ:

$$S = V_{\text{л}} T h, \quad (8)$$

где $V_{\text{л}}$ — скорость движения ленты,

h — ширина ленты.

Подставив выражение (5) в формулу (2) и пользуясь исходной формулой (1), с учетом соотношения (8) получим:

$$\eta = \frac{2 \Delta F}{V_{\text{л}} h K_T} \log_2 \left(1 + \frac{\xi}{5} \right). \quad (9)$$

В этой формуле ширина магнитной ленты h учитывается полностью, если лента используется для воспроизведения телевизионных и необходимых служебных сигналов, обеспечивающих нормальную работу УМЗ. Если часть магнитной ленты используется для записи и воспроизведения звуковой или другой информации, не связанной с обеспечением работы видеоканала УМЗ, то значение ширины h уменьшается на соответствующую величину.

В формулу (9) входят конечные выходные параметры видеоканала воспроизведения УМЗ и общий расход ленты в единицу времени, что позволяет единообразно оценивать различные системы магнитной записи по их эффективности — системы прямой записи, с преобразованием видеосигнала при помощи ЧМ с большим или малым индексом модуляции, с частичным подавлением одной боковой полосы, с частотным разделением каналов и др. Входящий в эту формулу коэффициент временных искажений дает возможность также объективно оценивать эффективность УМЗ, построенных по различным принципам движения магнитной

Наименование УМЗ	Система записи	ΔF , гц	ξ	V_L , мм/сек	h_L , мм	h , мм	n , эл.	N , эл.	K_T	η , усл. ед. мм ²
MP-633 (СССР)	Продольная	$50 \cdot 10^3$	30	1000	6,25	6,25	1,0	500	3,40	13,2
MP-2030 (СССР)	То же	$50 \cdot 10^3$	100	1250	6,25	6,25	1,0	2000	1,64	34,4
«Малахит» (СССР)	Наклонно-строчная с одной головкой	$3,5 \cdot 10^6$	100	190	25,4	24,2	—	—	1,00	6 700
ВМ-72 (СССР)	То же	$5,0 \cdot 10^6$	100	190	25,4	24,2	—	—	1,00	9 500
IVC-800 (США)	»	$5,0 \cdot 10^6$	110	171	25,4	25,4	—	—	1,00	10 400
CV-2100-СЕ (Япония)	Наклонно-строчная с двумя головками	$2,5 \cdot 10^6$	100	291	12,7	12,0	—	—	1,00	6 300
LDL-1000 (Голландия)	То же	$2,2 \cdot 10^6$	100	168	12,7	12,0	—	—	1,00	9 600
BK-100 (ФРГ)	»	$2,2 \cdot 10^6$	100	168	12,7	12,0	—	—	1,00	9 600
«Кадр-3» (СССР)	Наклонно-строчная с четырьмя головками	$6,0 \cdot 10^6$	100	397	50,8	47,75	0,3	625	1,60	1 740
VR-2000 (США)	То же	$6,0 \cdot 10^6$	142	397	50,8	47,75	0,3	625	1,60	1 930

h_L — полная ширина ленты, h — ширина ленты, используемая для записи сигналов изображения.

головки относительно ленты (или ленты относительно головки). По определению этого коэффициента (формула (7)), здесь учитываются искажения, присущие как устройствам, работающим по принципу наклонно-строчной записи с одной, двумя или четырьмя головками, так и устройствам с продольной записью, а также любые способы временной коррекции.

Формула (9) в совокупности с выражением (7) дает возможность определить показатель эффективности УМЗ, выраженный в условных единицах на 1 мм^2 площади магнитной ленты. По существу полученных формул условные единицы воспроизведенной информации близки к двоичным единицам, а при $K_t = 1$ в точности им соответствуют.

При помощи полученных формул рассчитаны показатели эффективности нескольких типов УМЗ, работающих на основе различных систем магнитной записи. Основные исходные данные и результаты расчетов сведены в таблицу, которая наглядно иллюстрирует возможности сравнительного анализа на основе оценки эффективности устройств магнитной записи любых типов. Не комментируя подробно таблицу, отметим только, что хотя из широкополосных видеомагнитофонов наиболее простыми являются LDL-1000 и ВК-100, они обладают очень высоким показателем эффективности. Данные аппараты разработаны как бытовые, и вполне естественно, что было необходимо достигнуть наибольшей эффективности прежде всего по экономическим соображениям. Технически эта задача решена в основном путем разработки и применения магнитной ленты с рабочим слоем на основе двуокиси хрома, обладающим примерно вдвое большей разрешающей способностью по сравнению с обычными магнитными видеолентами.

Выводы

1. Полученные формулы позволяют определить эффективность любых устройств магнитной записи аналоговых телевизионных сигналов по основным выходным параметрам независимо от системы или способа магнитной записи, что дает возможность оценивать степень совершенства УМЗ и сравнивать их между собой.

2. Учет временных искажений в оценке эффективности УМЗ имеет особенно большое значение при создании, анализе и сравнительной оценке малогабаритных облегченных устройств, когда из-за ряда ограничений нет возможности использовать достаточный объем ленты, повышенную скорость ее движения или другие специальные способы достижения соответствующей временной точности.

3. Формулы (7) и (9) открывают дополнительные возможности правильного выбора основных параметров УМЗ при его разработке с точки зрения достижения максимальной эффективности с учетом заданных условий работы или экономических факторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горон И. Е. и Дробышев Ю. П. О плотности записи широкополосных сигналов. «Радиотехника», 1961, т. 16, № 1, стр. 59.

2. Иванов В. Б. Искажения изображения, вызываемые неравномерностью движения ленты при воспроизведении магнитной записи узкополосного телевизионного сигнала. «Вопросы радиоэлектроники». Сер. IX «Техника телевидения», 1963, вып. 2, стр. 28.

3. Харкевич А. А. Очерки общей теории связи. М., ГИТТЛ, 1955.