

МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

Рекомендация МСЭ-R ВТ.601-7
(03/2011)

**Студийные параметры кодирования
цифрового телевидения для стандартного
4:3 и широкоэкранный 16:9 форматов**

Серия ВТ
Радиовещательная служба
(телевизионная)



Предисловие

Роль Сектора радиосвязи заключается в обеспечении рационального, справедливого, эффективного и экономичного использования радиочастотного спектра всеми службами радиосвязи, включая спутниковые службы, и проведении в неограниченном частотном диапазоне исследований, на основании которых принимаются Рекомендации.

Всемирные и региональные конференции радиосвязи и ассамблеи радиосвязи при поддержке исследовательских комиссий выполняют регламентарную и политическую функции Сектора радиосвязи.

Политика в области прав интеллектуальной собственности (ПИС)

Политика МСЭ-R в области ПИС излагается в общей патентной политике МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК, упоминаемой в Резолюции МСЭ-R 1. Формы, которые владельцам патентов следует использовать для представления патентных заявлений и деклараций о лицензировании, представлены по адресу: <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>, где также содержатся Руководящие принципы по выполнению общей патентной политики МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК и база данных патентной информации МСЭ-R.

Серии Рекомендаций МСЭ-R

(Представлены также в онлайн-форме по адресу: <http://www.itu.int/publ/R-REC/en>.)

Серия	Название
BO	Спутниковое радиовещание
BR	Запись для производства, архивирования и воспроизведения; пленки для телевидения
BS	Радиовещательная служба (звуковая)
BT	Радиовещательная служба (телевизионная)
F	Фиксированная служба
M	Подвижные службы, служба радиоопределения, любительская служба и относящиеся к ним спутниковые службы
P	Распространение радиоволн
RA	Радиоастрономия
RS	Системы дистанционного зондирования
S	Фиксированная спутниковая служба
SA	Космические применения и метеорология
SF	Совместное использование частот и координация между системами фиксированной спутниковой службы и фиксированной службы
SM	Управление использованием спектра
SNG	Спутниковый сбор новостей
TF	Передача сигналов времени и эталонных частот
V	Словарь и связанные с ним вопросы

Примечание. – Настоящая Рекомендация МСЭ-R утверждена на английском языке в соответствии с процедурой, изложенной в Резолюции МСЭ-R 1.

Электронная публикация
Женева, 2022 г.

© ITU 2022

Все права сохранены. Ни одна из частей данной публикации не может быть воспроизведена с помощью каких бы то ни было средств без предварительного письменного разрешения МСЭ.

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R ВТ.601-7*

**Студийные параметры кодирования цифрового телевидения
для стандартного 4:3 и широкоэкранный 16:9 форматов¹**

(Вопрос МСЭ-R 1/6)

(1982-1986-1990-1992-1994-1995-2007-2011)

Сфера применения

Настоящая Рекомендация охватывает также характеристики элементов изображения, которые представляют цифровое телевизионное изображение с разрешением 525 или 625 строк и чересстрочной разверткой.

В настоящей Рекомендации определяются методы цифрового кодирования видеосигналов. Рекомендация включает частоту дискретизации 13,5 МГц для обоих форматов изображения – 4:3 и 16:9 – с показателями качества, отвечающими требованиям современных систем передачи.

Ключевые слова

SDTV, цифровое телевизионное изображение, цифровое кодирование, цветоразность

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что имеются явные преимущества для радиовещателей и производителей телевизионных программ в наличии цифровых студийных стандартов с большим числом значений важных параметров, общих для систем с 525 и 625 строками;
- b) что совместимость на глобальном уровне цифровых подходов даст возможность разрабатывать оборудование со многими общими возможностями, обеспечит экономичность эксплуатации и будет способствовать осуществлению международного обмена программами;
- c) что желательно иметь расширяемое семейство совместимых стандартов цифрового кодирования. Стандарты этого семейства могли бы соответствовать разным уровням качества и разным форматам, упрощать дополнительную обработку, требуемую современными методами производства, и удовлетворять будущие потребности;
- d) что этим целям может соответствовать система, основанная на кодировании компонентов;
- e) что пространственное совмещение отсчетов, представляющих сигнал яркости и цветоразностные сигналы (или красный, синий и зеленый сигналы, если они используются), облегчает обработку цифровых компонентных сигналов, требуемую современными методами производства,

рекомендует

использовать следующее ниже описание в качестве основы для стандартов цифрового кодирования, применяемых в телевизионных студиях, как в странах, использующих систему с 525 строками, так и в тех, где используется система с 625 строками.

* В ноябре 2014 года и в марте 2017 года 6-я Исследовательская комиссия по радиосвязи внесла поправки редакционного характера в настоящую Рекомендацию в соответствии с Резолюцией МСЭ-R 1.

¹ Телевидение стандартной четкости (ТСЧ).

1 Расширяемое семейство совместимых стандартов цифрового кодирования

1.1 Цифровое кодирование должно позволять введение и развитие расширяемого семейства совместимых стандартов цифрового кодирования. Взаимодействие любых стандартов этого семейства должно быть простым.

1.2 Цифровое кодирование должно базироваться на использовании одного сигнала яркости и двух цветоразностных сигналов (или красного, синего и зеленого сигналов, если они используются).

1.3 Спектральные характеристики сигналов должны контролироваться, с тем чтобы избежать возникновения ложных частотных составляющих из-за ограничения полосы пропускания. Характеристики фильтра приведены в Дополнении 2.

2 Спецификация, применимая ко всем членам семейства

2.1 Структура дискретизации должна быть пространственно постоянной. Это соответствует, например, ортогональной структуре дискретизации, определенной в настоящей Рекомендации.

2.2 Если отсчеты представляют сигнал яркости и два одновременно существующих цветоразностных сигнала, каждая пара цветоразностных отсчетов должна быть совмещена в пространстве. Если используются отсчеты, представляющие красный, зеленый и синий сигналы, то они должны быть совмещены.

2.3 Цифровой стандарт, принимаемый для каждого члена семейства, должен позволять повсеместные прием и применение в эксплуатации; одно из условий достижения этой цели состоит в том, чтобы для каждого члена семейства число отсчетов на строку, определенное для 525- и 625-строчных систем, было бы совместимым (желательно одинаковое число отсчетов на строку).

2.4 В описании данной спецификации содержание цифровых слов, выраженное в десятичной и в шестнадцатеричной формах, обозначено суффиксами "d" и "h", соответственно.

Во избежание путаницы между 8-битовым и 10-битовым представлениями, восемь старших битов записываются как целая часть числа, а два дополнительных бита, если они есть, записываются как его дробная часть.

Например, двоичное число 10010001 может быть записано как 145_d или 91_h , а число 1001000101 может быть записано как $145,25_d$ или $91,4_h$.

В случае отсутствия дробной части, принимается, что ее бинарное значение равно 00.

2.5 Определение цифровых сигналов Y , C_R , C_B , из сигналов основных цветов (аналоговых) E'_R , E'_G и E'_B

В этом пункте, с целью определения сигналов Y , C_R , C_B , описываются правила их получения из прошедших предварительную гамма-коррекцию аналоговых сигналов основных цветов E'_R , E'_G и E'_B . Сигналы формируются в три стадии, которые описаны ниже в пп. 2.5.1, 2.5.2 и 2.5.3. Этот метод приведен в качестве примера, на практике идентичные результаты могут быть достигнуты при использовании других методов получения этих сигналов из сигналов основных цветов или других аналоговых или цифровых сигналов. Пример приведен в п. 2.5.4.

2.5.1 Создание сигнала яркости (E'_Y) и цветоразностных сигналов ($E'_R - E'_Y$) и ($E'_B - E'_Y$)

Сигнал яркости и цветоразностные сигналы формируются следующим образом:

$$E'_Y = 0,299 E'_R + 0,587 E'_G + 0,114 E'_B,$$

тогда

$$(E'_R - E'_Y) = E'_R - 0,299 E'_R - 0,587 E'_G - 0,114 E'_B = 0,701 E'_R - 0,587 E'_G - 0,114 E'_B$$

и

$$(E'_B - E'_Y) = E'_B - 0,299 E'_R - 0,587 E'_G - 0,114 E'_B = -0,299 E'_R - 0,587 E'_G + 0,886 E'_B.$$

В таблице 1 приведены значения, получаемые для белого, черного и насыщенных основных и дополнительных цветов, при условии, что значения сигнала приведены к единице (т. е. максимальные уровни 1,0 В).

ТАБЛИЦА 1
Нормализованные значения сигнала

Условие	E'_R	E'_G	E'_B	E'_Y	$E'_R - E'_Y$	$E'_B - E'_Y$
Белый	1,0	1,0	1,0	1,0	0	0
Черный	0	0	0	0	0	0
Красный	1,0	0	0	0,299	0,701	-0,299
Зеленый	0	1,0	0	0,587	-0,587	-0,587
Синий	0	0	1,0	0,114	-0,114	0,886
Желтый	1,0	1,0	0	0,886	0,114	-0,886
Голубой	0	1,0	1,0	0,701	-0,701	0,299
Пурпурный	1,0	0	1,0	0,413	0,587	0,587

2.5.2 Создание повторно нормализованных цветоразностных сигналов (E'_{C_R} и E'_{C_B})

При том, что значения E'_Y лежат в пределах от 1,0 до 0, значения $(E'_R - E'_Y)$ лежат в пределах от +0,701 до -0,701, а значения $(E'_B - E'_Y)$ – в пределах от +0,886 до -0,886. Для восстановления единичного размаха сигнала цветоразностных сигналов (то есть от +0,5 до -0,5), повторно нормализованные красный и синий цветоразностные сигналы E'_{C_R} и E'_{C_B} , соответственно, могут быть вычислены следующим образом:

$$E'_{C_R} = \frac{E'_R - E'_Y}{1,402} = \frac{0,701E'_R - 0,587E'_G - 0,114E'_B}{1,402}$$

и

$$E'_{C_B} = \frac{E'_B - E'_Y}{1,772} = \frac{-0,299E'_R - 0,587E'_G + 0,886E'_B}{1,772}$$

Символы E'_{C_R} и E'_{C_B} будут использоваться только для обозначения повторно нормализованных цветоразностных сигналов, т. е. сигналов, имеющих номинальный размах амплитуды, равный размаху сигнала яркости E'_Y , выбранный, таким образом, эталонным.

2.5.3 Квантование

В случае 8-битового или 10-битового бинарного кодирования с равными шагами квантования, определяются 2^8 или 2^{10} , т. е. 256 или 1024 равноотстоящих уровней квантования. Следовательно, доступный диапазон бинарных значений составляет от 0000 0000 до 1111 1111 (от 00 до FF в шестнадцатеричном представлении) или от 0000 0000 00 до 1111 1111 11 (от 00,0_h до FF,C_h в шестнадцатеричном представлении), эквивалентные десятичные значения – от 0,00_d до 255,75_d включительно.

В настоящей Рекомендации уровни $0,00_d$ и $255,75_d$ зарезервированы для передачи данных синхронизации, уровни от $1,00_d$ до $254,75_d$ используются для видеосигнала.

Учитывая, что для того, чтобы оставаться в рабочих границах, сигнал яркости должен занимать только 220 (8-битовых) или 877 (10-битовых) уровней, и что черный должен быть расположен на уровне $16,00_d$, десятичное значение квантованного сигнала яркости Y составляет:

$$Y = \text{int} \left\{ \left((219E'_Y + 16) \times D \right) / D \right\},$$

где D принимает либо значение 1, либо значение 4 при 8-битовом и 10-битовом квантовании, соответственно. Оператор $\text{int}(\)$ возвращает значение 0 для дробных частей в диапазоне от 0 до $0,4999\dots$ и +1 для дробных частей в диапазоне от $0,5$ до $0,999\dots$, т. е. он округляет в большую сторону дробные части, превышающие $0,5$.

Подобным же образом, принимая, что цветоразностные сигналы должны занимать 255 (8-битовых) или 897 (10-битовых) уровней и что нулевым уровнем должен быть уровень $128,00_d$, десятичные значения квантованных цветоразностных сигналов, C_R и C_B , составляют:

$$C_R = \text{int} \left\{ \left((224E'_{C_R} + 128) \times D \right) / D \right\}$$

и

$$C_B = \text{int} \left\{ \left((224E'_{C_B} + 128) \times D \right) / D \right\}.$$

Цифровые эквиваленты обозначаются как Y , C_R и C_B .

2.5.4 Создание сигналов Y , C_R , C_B посредством квантования сигналов E'_R , E'_G , E'_B

В случае, когда компоненты получены непосредственно из прошедших предварительную гамма-коррекцию сигналов E'_R , E'_G , E'_B или созданы сразу в цифровой форме, квантование и кодирование будут следующими:

$$E'_{R_D} \text{ (в цифровой форме)} = \text{int} \left\{ \left((219E'_R + 16) \times D \right) / D \right\}$$

$$E'_{G_D} \text{ (в цифровой форме)} = \text{int} \left\{ \left((219E'_G + 16) \times D \right) / D \right\}$$

$$E'_{B_D} \text{ (в цифровой форме)} = \text{int} \left\{ \left((219E'_B + 16) \times D \right) / D \right\}.$$

тогда:

$$Y = \text{int} \left\{ \left(0,299E'_{R_D} + 0,587E'_{G_D} + 0,114E'_{B_D} \right) \times D \right\} / D$$

$$\approx \text{int} \left\{ \left(\frac{k'_{Y1}}{2^m} E'_{R_D} + \frac{k'_{Y2}}{2^m} E'_{G_D} + \frac{k'_{Y3}}{2^m} E'_{B_D} \right) \times D \right\} / D$$

$$C_R = \text{int} \left[\left\{ \left(\frac{0,701E'_{R_D} - 0,587E'_{G_D} - 0,114E'_{B_D}}{1,402} \right) \frac{224}{219} + 128 \right\} \times D \right] / D$$

$$\approx \text{int} \left[\left\{ \left(\frac{k'_{CR1}}{2^m} E'_{R_D} + \frac{k'_{CR2}}{2^m} E'_{G_D} + \frac{k'_{CR3}}{2^m} E'_{B_D} \right) + 128 \right\} \times D \right] / D$$

$$C_B = \text{int} \left[\left\{ \left(\frac{-0,299 E'_{R_D} - 0,587 E'_{G_D} + 0,886 E'_{B_D}}{1,772} \right) \frac{224}{219} + 128 \right\} \times D \right] / D$$

$$\approx \text{int} \left[\left\{ \left(\frac{k'_{CB1}}{2^m} E'_{R_D} + \frac{k'_{CB2}}{2^m} E'_{G_D} + \frac{k'_{CB3}}{2^m} E'_{B_D} \right) + 128 \right\} \times D \right] / D,$$

где k' и m означают целочисленные коэффициенты и битовую длину целочисленных коэффициентов, соответственно. Целочисленные коэффициенты уравнений для сигналов яркости и цветоразностных сигналов должны определяться согласно Приложению 2.

ТАБЛИЦА 2

**Целочисленные коэффициенты уравнений
для сигналов яркости и цветоразностных сигналов**

Биты коэффи- циента	Знаменатель	Сигнал яркости Y			Цветоразностный сигнал C_R			Цветоразностный сигнал C_B		
		k'_{Y1}	k'_{Y2}	k'_{Y3}	k'_{CR1}	k'_{CR2}	k'_{CR3}	k'_{CB1}	k'_{CB2}	k'_{CB3}
m	2^m									
8	256	77	150	29	131	-110	-21	-44	-87	131
9	512	153	301	58	262	-219	-43	-88	-174	262
10	1 024	306	601	117	524	-439	-85	-177	-347	524
11	2 048	612	1 202	234	1 047	-877	-170	-353	-694	1 047
12	4 096	1 225	2 404	467	2 095	-1 754	-341	-707	-1 388	2 095
13	8 192	2 449	4 809	934	4 189	-3 508	-681	-1 414	-2 776	4 190
14	16 384	4 899	9 617	1 868	8 379	-7 016	-1 363	-2 828	-5 551	8 379
15	32 768	9 798	19 235	3 735	16 758	-14 033	-2 725	-5 655	-11 103	16 758
16	65 536	19 595	38 470	7 471	33 516	-28 066	-5 450	-11 311	-22 205	33 516

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Жирным шрифтом выделены значения, которые были изменены относительно ближайшего целочисленного значения в результате оптимизации.

Для получения 4:2:2 компонентов Y , C_R , C_B , к описанным выше сигналам 4:4:4 C_R , C_B следует применить НЧ фильтрацию и субдискретизацию. Следует отметить, что могут существовать незначительные различия между компонентами C_R , C_B , полученными описанным выше способом, и теми, которые получены путем аналоговой фильтрации до дискретизации.

2.5.5 Ограничение сигналов Y , C_R , C_B

Цифровое кодирование сигналов в форме Y , C_R , C_B может представить существенно более широкую гамму значений сигнала, чем та, которая может поддерживаться в соответствующих диапазонах сигналов R , G , B . Поэтому, существует вероятность получения в результате создания электронного изображения или обработки сигнала такие сигналы Y , C_R , C_B , которые, несмотря на пригодность каждого из них по отдельности, могут, при преобразовании к R , G , B , привести к получению значений, лежащих вне допустимых пределов. Более удобно и более эффективно предотвратить это посредством наложения ограничений на сигналы Y , C_R , C_B , чем ждать, когда они будут преобразованы в форму R , G , B . Кроме того, ограничение может быть применено, как способ поддержания значений яркости и цветовых оттенков, минимизируя субъективные искажения посредством потери только насыщенности цвета.

2.6 Цветовая и оптоэлектронная световая характеристика²

Пункт	Характеристики				
	Параметр	625		525	
2.6.1	Трехцветные координаты, CIE 1931 ⁽¹⁾	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>x</i>	<i>y</i>
	Основные цвета: Красный	0,640	0,330	0,630	0,340
	Зеленый	0,290	0,600	0,310	0,595
	Синий	0,150	0,060	0,155	0,070
2.6.2	Принятая цветность для равных сигналов основных цветов – цветность опорного белого $E_R = E_G = E_B$	D_{65}			
		<i>x</i>		<i>y</i>	
		0,3127		0,3290	
2.6.3	Оптоэлектронная световая характеристика до нелинейной предварительной коррекции	Принимаются линейными			
2.6.4	Оптоэлектронная характеристика "от света до света" у источника ³	$E = (1,099 L^{0,45} - 0,099)$ при $1,00 \geq L \geq 0,018$ $E = 4,500 L$ при $0,018 > L \geq 0$ где: <i>L</i> : яркость изображения $0 \leq L \leq 1$ при традиционной колориметрии; <i>E</i> : соответствующий электрический сигнал.			

⁽¹⁾ Определены трехцветные координаты, которые в настоящее время используются традиционными системами с 625 и 525 строками.

3 Члены семейства стандартов

Определяются следующие члены семейства:

- 4:2:2 для систем с форматом изображения 4:3 и для широкоэкранных систем с форматом изображения 16:9, когда необходимо сохранить одинаковыми ширину полосу аналогового сигнала и скорость передачи цифрового потока для обоих форматов;
- 4:4:4⁴ для систем с форматом изображения 4:3 и 16:9 с высшим цветовым разрешением.

² Признано, что в настоящее время иногда используется практика, согласно которой, когда созданная в формате ТВЧ программа выходит в формате ТСЧ, то ее схема расположения элементов изображения преобразуется в схему для ТСЧ, при этом колориметрия исходной программы не меняется.

³ В обычной практике производства функция кодирования источников изображения регулируется таким образом, что окончательное изображение имеет желаемый вид, соответствующий отображаемому на эталонном мониторе, который имеет эталонную функцию кодирования в соответствии с Рекомендацией МСЭ-R ВТ.1886, в эталонной среде просмотра, определенной в Рекомендации МСЭ-R ВТ.2035. При том что некоторые параметры, приведенные в Рекомендации МСЭ-R ВТ.2035, предназначены для просмотра сигналов ТСВЧ, для формата изображения ТСЧ следует использовать расстояния просмотра с возможностью масштабирования.

⁴ Для стандартов 4:4:4 семейства дискретизированные сигналы могут быть сигналами яркости и цветоразностными сигналами (или красным, зеленым и синим сигналами, если они используются).

Приложение 1

Параметры кодирования для членов семейства стандартов

1 Значения параметров кодирования для стандарта 4:2:2 семейства стандартов

Параметры (см. таблицу 3), которые применяются для члена 4:2:2 семейства стандартов, должны использоваться в стандартном цифровом интерфейсе между основным студийным оборудованием и для международного обмена программами цифрового телевидения формата 4:3 или широкоэкранного цифрового телевидения формата 16:9, когда необходимо сохранить одинаковыми величину полосы аналогового сигнала и скорость цифрового потока.

ТАБЛИЦА 3

Параметры	Системы 525 строк, 60/1,001 полей/с	Системы 625 строк, 50 полей/с
1) Кодированные сигналы: Y , C_R , C_B	Эти сигналы получены из сигналов, прошедших предварительную гамма-коррекцию, а именно: $E'_Y, E'_R - E'_Y, E'_B - E'_Y$ (см. п 2.5).	
2) Число отсчетов в полной строке: – сигнал яркости (Y) – каждый цветоразностный сигнал (C_R, C_B)	858 429	864 432
3) Структура дискретизации	Ортогональная для строк, полей и кадров, соответственно. Отсчеты C_R и C_B пространственно совмещены с нечетными отсчетами (1-й, 3-й, 5-й и т. д.) сигнала Y в каждой строке.	
4) Частота дискретизации: – сигнал яркости – каждый цветоразностный сигнал	13,5 МГц 6,75 МГц Допуски по частоте дискретизации должны совпадать с допусками для частоты строк соответствующего стандарта цветного телевидения.	
5) Форма кодирования	Равномерная ИКМ, 8 или 10 битов на отсчет для сигнала яркости и каждого цветоразностного сигнала.	
6) Число отсчетов на активную цифровую строку: – сигнал яркости – каждый цветоразностный сигнал	720 360	
7) Связь между аналоговой и цифровой синхронизацией строк: – от конца активной цифровой строки до момента O_H	16 периодов синхронизации яркости	12 периодов синхронизации яркости

ТАБЛИЦА 3 (окончание)

Параметры	Системы 525 строк, 60/1,001 полей/с	Системы 625 строк, 50 полей/с
8) Соответствие между уровнями видеосигнала и квантования: – шкала – сигнал яркости – каждый цветоразностный сигнал	(См. п. 2.4) (Значения в десятичном представлении) от 0,00 _d до 255,75 _d 220 (8-битовых) или 877 (10-битовых) уровней квантования с уровнем черного, соответствующим уровню 16,00 _d , и пиком уровня белого, соответствующего уровню 235,00 _d . Уровень сигнала может иногда превышать уровень 235,00 _d или быть ниже уровня 16,00 _d . 225 (8-битовых) или 897 (10-битовых) уровней квантования в центральной части шкалы квантования с нулевым сигналом, соответствующим уровню 128,00 _d . Уровень сигнала может иногда превышать уровень 240,00 _d или быть ниже уровня 16,00 _d .	
9) Используемые кодовые слова	Кодовые слова, соответствующие уровням квантования 0,00 _d и 255,75 _d , используются только для синхронизации. Уровни с 1,00 _d по 254,75 _d используются для видеосигнала. Если 8-битовые слова интерпретируются в 10-битовой системе, в 8-битовое слово должны вставляться два содержащие нули LSB.	

2 Значения параметров кодирования для стандарта 4:4:4 семейства стандартов

Параметры, приведенные в таблице 4, применяются к стандарту 4:4:4 семейства стандартов, пригодному для оборудования источников телевизионного сигнала и приложений обработки высококачественного видеосигнала.

ТАБЛИЦА 4

Параметры	Системы 525 строк, 60/1,001 полей/с	Системы 625 строк, 50 полей/с
1) Кодированные сигналы: Y , CR , CB или R , G , B	Эти сигналы получены из сигналов, прошедших предварительную гамма-коррекцию, а именно $E'_Y, E'_R - E'_Y, E'_B - E'_Y$ или E'_R, E'_G, E'_B	
2) Число отсчетов в полной строке для каждого сигнала	858	864
3) Структура дискретизации	Ортогональная для строк, полей и кадров. Три структуры дискретизации должны быть совмещены друг с другом и также совмещены со структурой дискретизации сигнала яркости стандарта 4:2:2	
4) Частота дискретизации для каждого сигнала	13,5 МГц	
5) Форма кодирования	Равномерная ИКМ, 8 или 10 битов на отсчет	
6) Длительность активной цифровой строки в числе отсчетов	720	
7) Связь между аналоговой и цифровой синхронизацией строк: – от конца активной цифровой строки до момента O_H	16 периодов синхронизации	12 периодов синхронизации

ТАБЛИЦА 4 (окончание)

Параметры	Системы 525 строк, 60/1,001 полей/с	Системы 625 строк, 50 полей/с
8) Соответствие между уровнями видеосигнала для каждого отсчета: – шкала – R, G, B или сигнал яркости ⁽¹⁾ – каждый цветоразностный сигнал ⁽¹⁾	(см. п. 2.4) (Значения в десятичном представлении) от 0,00 _d до 255,75 _d 220 (8-битовых) или 877 (10-битовых) уровней квантования с уровнем черного, соответствующим уровню 16,00 _d , и пиком уровня белого, соответствующего уровню 235,00 _d . Уровень сигнала может иногда превышать уровень 235,00 _d или быть ниже уровня 16,00 _d . 225 (8-битовых) или 897 (10-битовых) уровней квантования в центральной части шкалы квантования с нулевым сигналом, соответствующим уровню 128,00 _d . Уровень сигнала может иногда превышать уровень 240,00 _d или быть ниже уровня 16,00 _d .	
9) Используемые кодовые слова	Кодовые слова, соответствующие уровням квантования 0,00 _d и 255,75 _d , используются только для синхронизации. Уровни с 1,00 _d по 254,75 _d используются для видеосигнала Если 8-битовые слова интерпретируются в 10-битовой системе, в 8-битовое слово должны вставляться два содержащие нули LSB.	

⁽¹⁾ Если используется.

Дополнение 1 к Приложению 1

Описание сигналов, используемых в стандартах цифрового кодирования

1 Взаимосвязь между активной цифровой строкой и моментом аналоговой синхронизации

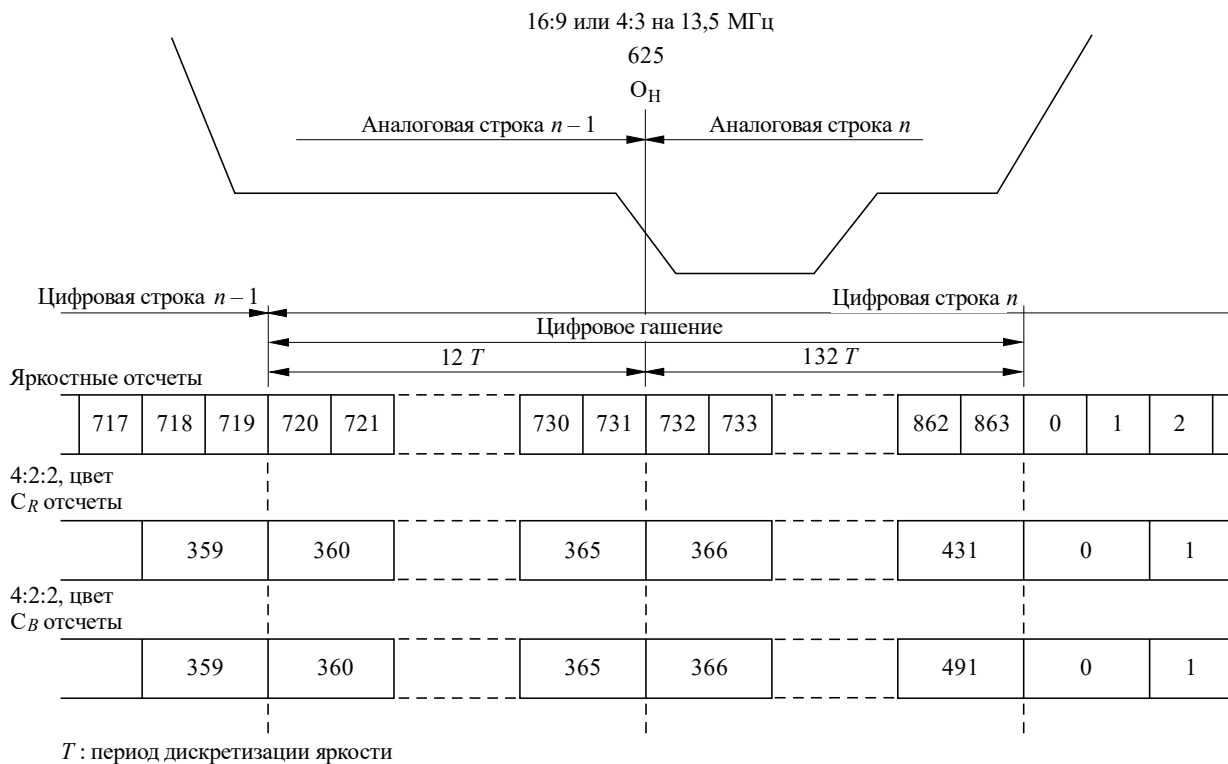
Взаимосвязь между отсчетами яркости активной цифровой строки и моментом аналоговой синхронизации показана на:

- рисунке 1 для систем с 625 строками;
- рисунке 2 для систем с 525 строками.

На этих рисунках точка дискретизации соответствует началу каждого блока.

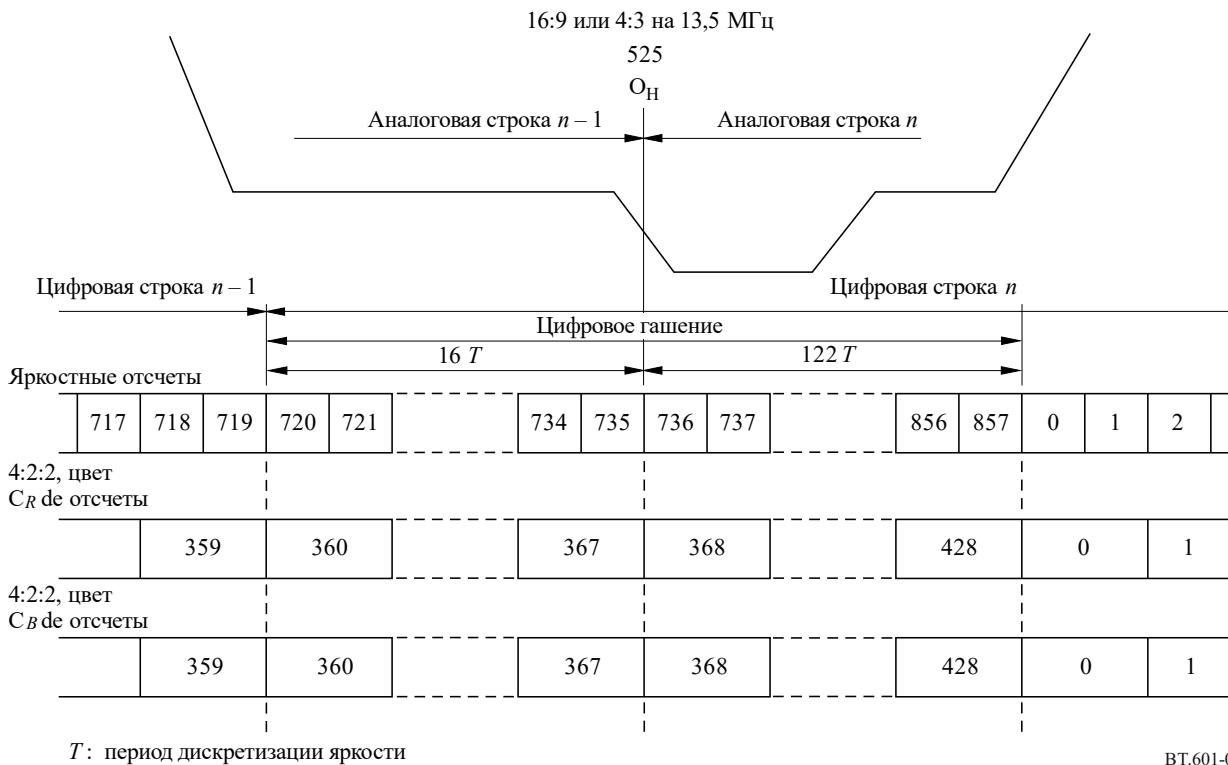
Соответствующие числа отсчетов цветоразностных сигналов в стандарте 4:2:2 могут быть получены посредством деления пополам числа яркостных отсчетов. Значения (12,132) и (16,122) были выбраны симметричными, для того чтобы изобразить активную цифровую строку в районе разрешенных вариаций. Они не являются частью описания цифровой строки и относятся только к аналоговому интерфейсу.

РИСУНОК 1



ВТ.601-01

РИСУНОК 2



ВТ.601-02

Дополнение 2 к Приложению 1

Характеристики фильтрации

1 Некоторые указания по практической реализации фильтров

В предложениях по фильтрам, используемым в процессах кодирования и декодирования, предполагается, что в постфильтрах, которые следуют за цифро-аналоговым преобразованием, предусмотрена коррекция по характеристике $(\sin x/x)$. Допуски по полосе пропускания для фильтра плюс корректор $(\sin x/x)$ плюс теоретическая $(\sin x/x)$ характеристика должны быть такими же, как приняты собственно для фильтров. Это наиболее просто достигается, если фильтр, корректор $(\sin x/x)$ и компенсатор задержки разрабатываются как единое устройство.

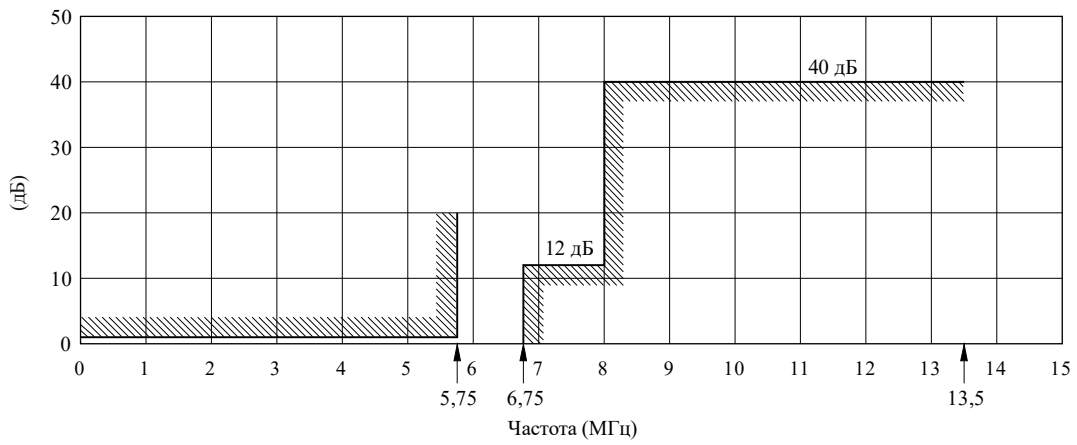
Общая задержка из-за фильтрации и кодирования должна быть одинаковой для сигнала яркости и цветоразностных сигналов. Задержка фильтра цветоразностных сигналов (рисунки 4а и 4b) вдвое выше, чем задержка фильтра сигнала яркости (рисунки 3а и 3b). Поскольку трудно выровнять эти времена с использованием аналоговых линий задержки без превышения пределов полосы пропускания, рекомендуется большую часть этой разницы (кратную периоду дискретизации) компенсировать в цифровой форме. Что касается корректировки остатка, необходимо отметить, что цепь дискретизации и синхронизации в декодере вводит равномерную задержку на половину периода дискретизации.

Допуски в полосе пропускания для неравномерности амплитуды и группового времени запаздывания очень невелики. Современные исследования показывают, что это необходимо, так как значительное число последовательных операций кодирования и декодирования могут быть выполнены без потерь потенциально высокого качества стандарта кодирования 4:2:2. Из-за ограничений, присущих существующему сегодня измерительному оборудованию, производители могут испытывать трудности в обеспечении экономичной поверки в производственных условиях отдельных фильтров на соответствие их параметров допустимым отклонениям. Однако можно разрабатывать фильтры таким образом, чтобы установленные характеристики выполнялись на практике, и производителям необходимо прилагать все усилия на стадии производства, направленные на то, чтобы каждый фильтр соответствовал данным характеристикам.

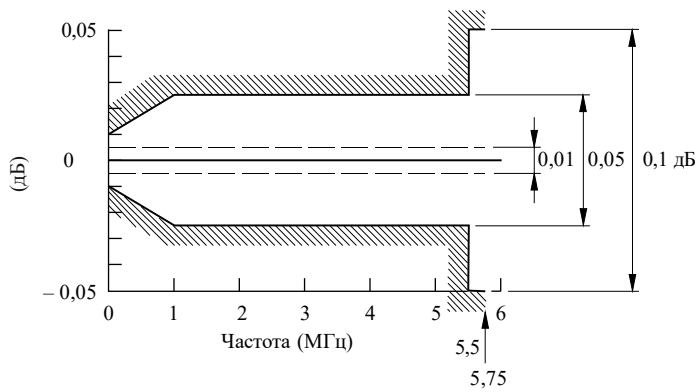
Параметры, приведенные в Дополнении 2, разрабатывались так, чтобы максимально сохранить спектральное содержание сигналов Y , C_R , C_B на всем пути их следования через компонентную сигнальную цепь. Однако понятно, что спектральная характеристика цветоразностного сигнала должна быть сформирована посредством медленного сглаживающего фильтра, устанавливаемого в мониторе, или на конце компонентной сигнальной цепи.

РИСУНОК 3

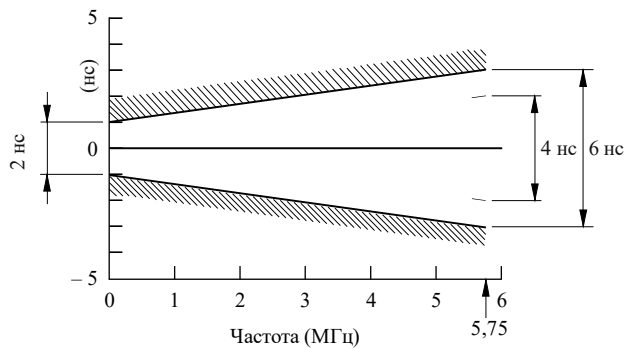
Характеристики фильтра сигналов яркости, RGB или цветоразностных сигналов формата 4:4:4



а) Шаблон характеристики введения/удаления частоты



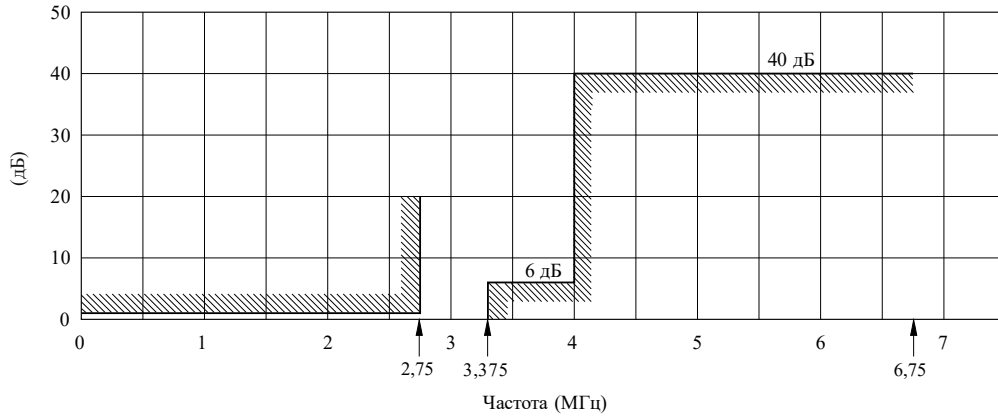
б) Допуск по неравномерности в полосе пропускания фильтра



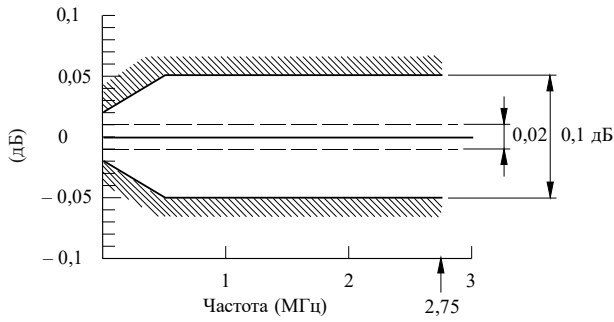
с) Допуск по групповому времени задержки в полосе

Примечание 1. – Наименьшая частота в б) и с) равна 1 кГц (вместо 0 МГц)

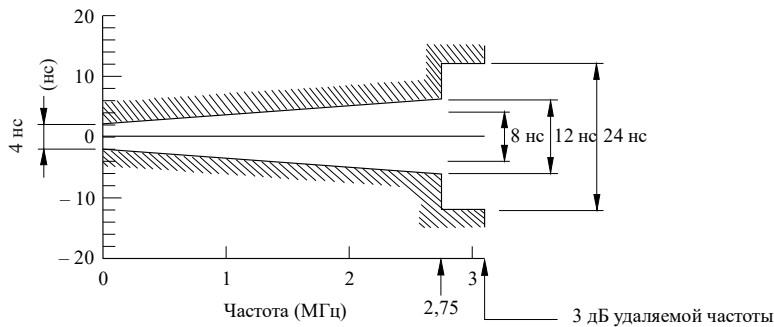
РИСУНОК 4
Характеристики цветоразностных сигналов формата 4:2:2



а) Шаблон характеристики введения/удаления частоты



б) Допуск по неравномерности в полосе пропускания фильтра

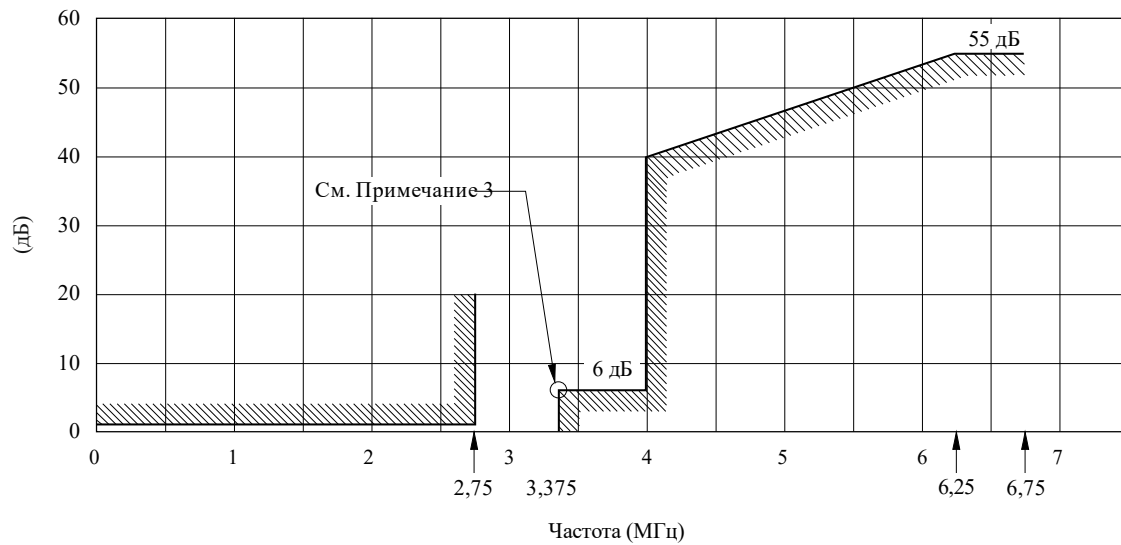


в) Допуск по групповому времени задержки в полосе

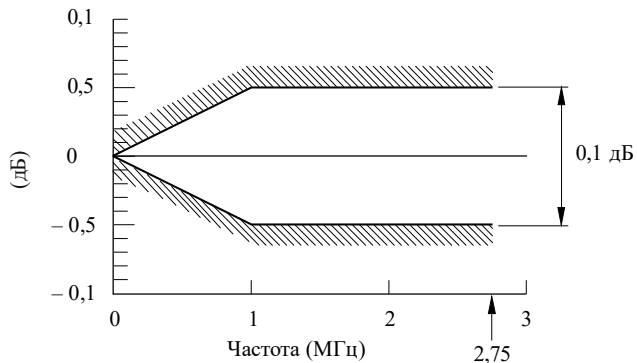
Примечание 1. – Наименьшая частота в б) и в) равна 1 кГц (вместо 0 МГц).

РИСУНОК 5

Характеристики цифрового фильтра для преобразования частоты дискретизации цветоразностных сигналов из 4:4:4 в 4:2:2



а) Шаблон характеристики введения/удаления частоты



б) Допуск по неравномерности в полосе пропускания фильтра.

ВТ.601-05

Примечания к рисункам 3, 4 и 5

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Неравномерность и групповое время запаздывания определены по отношению к их значениям на 1 кГц. Сплошные линии обозначают практические пределы, пунктирные – предлагаемые пределы для теоретического проектирования.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – В цифровом фильтре практические и расчетные пределы эквивалентны. Искажение времени задержки преднамеренно равно нулю.

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – В цифровом фильтре (рисунок 5) амплитудно-частотная характеристика (в линейном масштабе) должна иметь наклон, симметричный относительно точки половинной амплитуды, как показано на рисунке.

ПРИМЕЧАНИЕ 4. – В предложениях по фильтрам для использования в процессах кодирования и декодирования принимается, что в фильтрации, следующей за цифро-аналоговым преобразованием, предусмотрена коррекция по характеристике ($\sin x/x$) цепей дискретизации и синхронизации.

Приложение 2

Получение целочисленных коэффициентов уравнений для сигнала яркости и цветоразностных сигналов в традиционной системе цветовой гаммы

Цифровые системы могут вносить в сигнал яркости и в цветоразностные сигналы ошибки расчета, которые связаны с тем, что коэффициенты уравнений имеют ограниченную битовую длину. Кроме того, цифровой сигнал яркости и цифровые цветоразностные сигналы могут принимать несколько отличающиеся значения в зависимости от последовательности обработки сигнала, т. е. расхождения между сигналами, квантованными после прохождения аналогового матричного коммутатора, и сигналами, прошедшими цифровой матричный коммутатор после квантования сигналов RGB. Для сведения к минимуму таких ошибок и расхождений следует оптимизировать целочисленные коэффициенты уравнений для цифровых сигналов. Ниже приведены процедура оптимизации и результирующие целочисленные коэффициенты для нескольких значений битовой длины.

1 Уравнения для цифровых сигналов

Приведенные ниже коэффициенты m и n обозначают, соответственно, битовую длину целочисленных коэффициентов и цифровых сигналов.

Уравнение для цифрового сигнала яркости в традиционной системе цветовой гаммы имеет следующий вид:

$$D'_Y = \text{INT} [0,299 D'_R + 0,587 D'_G + 0,114 D'_B] \quad (1)$$

$$= \text{INT} \left[\frac{r'_{Y1}}{2^m} D'_R + \frac{r'_{Y2}}{2^m} D'_G + \frac{r'_{Y3}}{2^m} D'_B \right] \quad (2)$$

$$\approx \text{INT} \left[\frac{k'_{Y1}}{2^m} D'_R + \frac{k'_{Y2}}{2^m} D'_G + \frac{k'_{Y3}}{2^m} D'_B \right], \quad (3)$$

где через r' и k' обозначены, соответственно, фактические значения коэффициента и целочисленные коэффициенты, приведенные ниже:

$$\begin{aligned} r'_{Y1} &= 0,299 \times 2^m & k'_{Y1} &= \text{INT} [r'_{Y1}] \\ r'_{Y2} &= 0,587 \times 2^m & k'_{Y2} &= \text{INT} [r'_{Y2}] \\ r'_{Y3} &= 0,114 \times 2^m & k'_{Y3} &= \text{INT} [r'_{Y3}]. \end{aligned}$$

Уравнения для цифровых цветоразностных сигналов в традиционной системе цветовой гаммы имеют следующий вид:

$$D'_{CB} = \text{INT} \left[\frac{-0,299 D'_R - 0,587 D'_G + 0,886 D'_B}{1,772} \times \frac{224}{219} + 2^{n-1} \right] \quad (4)$$

$$= \text{INT} \left[\frac{r'_{CB1}}{2^m} D'_R + \frac{r'_{CB2}}{2^m} D'_G + \frac{r'_{CB3}}{2^m} D'_B + 2^{n-1} \right] \quad (5)$$

$$\approx \text{INT} \left[\frac{k'_{CB1}}{2^m} D'_R + \frac{k'_{CB2}}{2^m} D'_G + \frac{k'_{CB3}}{2^m} D'_B + 2^{n-1} \right] \quad (6)$$

$$D'_{CR} = \text{INT} \left[\frac{0,701 D'_R - 0,587 D'_G - 0,114 D'_B}{1,402} \times \frac{224}{219} + 2^{n-1} \right] \quad (7)$$

$$= \text{INT} \left[\frac{r'_{CR1}}{2^m} D'_R + \frac{r'_{CR2}}{2^m} D'_G + \frac{r'_{CR3}}{2^m} D'_B + 2^{n-1} \right] \quad (8)$$

$$\approx \text{INT} \left[\frac{k'_{CR1}}{2^m} D'_R + \frac{k'_{CR2}}{2^m} D'_G + \frac{k'_{CR3}}{2^m} D'_B + 2^{n-1} \right], \quad (9)$$

где:

$$r'_{CB1} = -\frac{0,299}{1,772} \times \frac{224}{219} \times 2^m \quad k'_{CB1} = \text{INT} [r'_{CB1}]$$

$$r'_{CB2} = -\frac{0,587}{1,772} \times \frac{224}{219} \times 2^m \quad k'_{CB2} = \text{INT} [r'_{CB2}]$$

$$r'_{CB3} = \frac{0,886}{1,772} \times \frac{224}{219} \times 2^m \quad k'_{CB3} = \text{INT} [r'_{CB3}]$$

$$r'_{CR1} = \frac{0,701}{1,402} \times \frac{224}{219} \times 2^m \quad k'_{CR1} = \text{INT} [r'_{CR1}]$$

$$r'_{CR2} = -\frac{0,587}{1,402} \times \frac{224}{219} \times 2^m \quad k'_{CR2} = \text{INT} [r'_{CR2}]$$

$$r'_{CR3} = -\frac{0,114}{1,402} \times \frac{224}{219} \times 2^m \quad k'_{CR3} = \text{INT} [r'_{CR3}].$$

2 Процедура оптимизации

В уравнении (3) описан сигнал яркости, прошедший матричный коммутатор, который содержит ошибки расчета, вызванные тем, что целочисленные коэффициенты имеют ограниченную битовую длину. При увеличении битовой длины коэффициента аргумент уравнения (3) (значение в квадратных скобках []) приближается к аргументу уравнения (2), что приводит к уменьшению ошибок или расхождений между уравнениями. Таким образом, разность аргументов уравнений (2) и (3) можно считать мерой оптимизации целочисленного коэффициента. Поскольку разность аргументов зависит от входных сигналов RGB, задаем оптимизацию по методу наименьших квадратов, при которой целочисленные коэффициенты корректируются таким образом, чтобы сумма квадратов разностей по всем составляющим входного сигнала принимала минимальное значение, т. е. значение уравнения (10) сводится к минимуму.

$$\varepsilon'_Y = \sum_{\text{по всем RGB}} \left\{ \left(\frac{k'_{Y1}}{2^m} D'_R + \frac{k'_{Y2}}{2^m} D'_G + \frac{k'_{Y3}}{2^m} D'_B \right) - \left(\frac{r'_{Y1}}{2^m} D'_R + \frac{r'_{Y2}}{2^m} D'_G + \frac{r'_{Y3}}{2^m} D'_B \right) \right\}^2. \quad (10)$$

Помимо обеспечения минимальных среднеквадратических ошибок, оптимизация по методу наименьших квадратов автоматически сводит к минимуму пиковую ошибку, которая имеет место при том или ином конкретном входном сигнале цвета (той или иной конкретной комбинации входных сигналов RGB), а также расхождение, обусловленное разными последовательностями обработки сигнала (аналоговая матричная коммутация и цифровая матричная коммутация).

Процедура оптимизации заключается в следующем:

Этап 1: Для исходного значения каждого целочисленного коэффициента r'_{ij} ($j = 1, 2, 3$) берем целое, ближайшее к фактическому значению коэффициента r'_{ij} .

Этап 2: Используя исходные целочисленные коэффициенты, рассчитываем среднеквадратические ошибки или сумму квадратов разностей (уравнение (10)) для диапазона входного сигнала RGB, например от 16 до 235 в 8-битовой системе (в п. 3 описан простой метод расчета без использования суммирования).

Этап 3: Рассматриваем среднеквадратические ошибки, получающиеся при увеличении/уменьшении каждого целочисленного коэффициента на единицу. В общей сложности должна быть получена оценка для $27 (= 3^3)$ комбинаций, поскольку каждый коэффициент может принимать три значения: уменьшенное, увеличенное или неизменное относительно исходного значения.

Этап 4: Выбираем комбинацию коэффициентов, которая дает минимальную среднеквадратическую ошибку. Эта комбинация является результирующей оптимизированной комбинацией.

Такая же процедура применяется к уравнениям для цветоразностных сигналов с использованием уравнений (11) и (12).

$$\varepsilon'_{CB} = \sum_{\text{по всем } RGB} \left\{ \left(\frac{k'_{CB1}}{2^m} D'_R + \frac{k'_{CB2}}{2^m} D'_G + \frac{k'_{CB3}}{2^m} D'_B + 2^{n-1} \right) - \left(\frac{r'_{CB1}}{2^m} D'_R + \frac{r'_{CB2}}{2^m} D'_G + \frac{r'_{CB3}}{2^m} D'_B + 2^{n-1} \right) \right\}^2 \quad (11)$$

$$\varepsilon'_{CR} = \sum_{\text{по всем } RGB} \left\{ \left(\frac{k'_{CR1}}{2^m} D'_R + \frac{k'_{CR2}}{2^m} D'_G + \frac{k'_{CR3}}{2^m} D'_B + 2^{n-1} \right) - \left(\frac{r'_{CR1}}{2^m} D'_R + \frac{r'_{CR2}}{2^m} D'_G + \frac{r'_{CR3}}{2^m} D'_B + 2^{n-1} \right) \right\}^2. \quad (12)$$

3 Простой метод расчета суммы квадратов разностей

Выразив разность между целочисленными коэффициентами и фактическими значениями коэффициентов через $\delta_{ij} = k'_{ij} - r'_{ij}$, а также цифровые сигналы RGB через X_j , можем записать сумму квадратов разностей уравнений (10)–(12) следующим образом:

$$\varepsilon'_i = \frac{1}{2^m} \sum_{X_1=L}^H \sum_{X_2=L}^H \sum_{X_3=L}^H (\delta_{i1} X_1 + \delta_{i2} X_2 + \delta_{i3} X_3)^2, \quad (13)$$

где L и H обозначают, соответственно, нижнюю и верхнюю границы диапазона входного сигнала, для которого требуется оптимизировать целочисленные коэффициенты.

Поскольку L и H являются постоянными в рассматриваемой цифровой системе, то результаты суммирования X_j тоже будут постоянными. Тогда уравнение (13) можно выразить как функцию только от δ_{ij} .

$$\varepsilon'_i = \frac{1}{2^m} \left\{ N_1 (\delta_{i1}^2 + \delta_{i2}^2 + \delta_{i3}^2) + 2N_2 (\delta_{i1} \delta_{i2} + \delta_{i2} \delta_{i3} + \delta_{i3} \delta_{i1}) \right\}, \quad (14)$$

где:

$$\begin{aligned}
 N_1 &= \sum_{X_2=L}^H \sum_{X_3=L}^H \left(\sum_{X_1=L}^H X_1^2 \right) = \sum_{X_1=L}^H \sum_{X_3=L}^H \left(\sum_{X_2=L}^H X_1^2 \right) = \sum_{X_1=L}^H \sum_{X_2=L}^H \left(\sum_{X_3=L}^H X_1^2 \right) \\
 &= (H-L+1)^2 \{H(H+1)(2H+1)/6 - (L-1)L(2L-1)/6\} \\
 N_2 &= \sum_{X_3=L}^H \left(\sum_{X_1=L}^H \sum_{X_2=L}^H X_1 X_2 \right) = \sum_{X_1=L}^H \left(\sum_{X_2=L}^H \sum_{X_3=L}^H X_2 X_3 \right) = \sum_{X_2=L}^H \left(\sum_{X_3=L}^H \sum_{X_1=L}^H X_3 X_1 \right) \\
 &= (H-L+1) \{H(H+1)/2 - (L-1)L/2\}^2.
 \end{aligned}$$

Таким образом, расчет среднеквадратических ошибок или решение уравнений (10)–(12) можно легко осуществить с использованием уравнения (14).
