

## ЦВЕТКОРРЕКЦИЯ В ТРЕХЦВЕТНЫХ УСТРОЙСТВАХ ЦВЕТОВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ

Л.Д. Ложкин<sup>1</sup>, О.В. Осипов<sup>1</sup>, А.А. Вороной<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики», Самара, Россия

### Аннотация

В данной статье рассматриваются вопросы цветовых искажений, возникающих в современных телевизионных системах. Графически показаны искажения цветности между оригиналом и его изображением в случае стандартных схем цветовой коррекции в камерном канале телевизионной системы. В связи с тем, что в настоящее время используются различные телевизионные экраны с большими отличиями цветовых охватов, величина искажений цветностей между оригиналом и его изображением на конкретном телевизионном экране будет сильно различаться при воспроизведении. Для уменьшения цветовых искажений в статье предлагается метод цветовой коррекции, основанный на сравнении координат цвета в колориметрической системе телевизионной камеры с их значениями в колориметрической системе МКО.

**Ключевые слова:** цвет, анализ изображений, дисперсия, колориметрическая система координат, цветовой охват телевизионного экрана, цветовой треугольник цветовоспроизводящего устройства.

**Цитирование:** Ложкин, Л.Д. Цветокоррекция в трехцветных устройствах цветовоспроизведения / Л.Д. Ложкин, О.В. Осипов, А.А. Вороной // Компьютерная оптика. – 2017. – Т. 41, № 1. – С. 88-94. – DOI: 10.18287/2412-6179-2017-41-1-88-94.

### Введение. Стандартная схема цветокорректора

В эпоху черно-белого телевидения на качество телевизионного изображения влияли контрастность, яркость и четкость изображения, геометрические искажения, а также помехи в виде «снега», муаров и других мешающих (раздражающих) факторов.

С 1976 г. в нашей стране активно стало развиваться цветное телевидение. В связи с этим к качеству телевизионного изображения добавились факторы цветных искажений, а именно верность воспроизведения цветности на телевизионном экране. Для коррекции цветных искажений в аппаратуру телецентра, а точнее в камерный канал, было введено специальное устройство — цветокорректор [1–4].

Схематически цветокорректор включается в схему камерного канала после гамма-корректоров, которые корректируют световые характеристики «красного», «зеленого» и «синего» каналов телевизионного экрана [1].

Математическая модель цветокорректора представляет собой систему линейных алгебраических уравнений, связывающую между собой входные и выходные сигналы (компоненты) цветокорректора через коэффициенты маскирования [1]:

$$\begin{aligned} E'_{RO} &= a_{11}E'_R + a_{12}E'_G + a_{13}E'_B; \\ E'_{GO} &= a_{21}E'_R + a_{22}E'_G + a_{23}E'_B; \\ E'_{BO} &= a_{31}E'_R + a_{32}E'_G + a_{33}E'_B, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $E'_{RO}$ ,  $E'_{GO}$ ,  $E'_{BO}$  — выходные сигналы цветокорректора;  $E'_R$ ,  $E'_G$  и  $E'_B$  — входные сигналы, коэффициенты  $a_{ij}$  ( $i, j = \overline{1,3}$ ) называются коэффициентами маскирования.

На выходе такого корректора получают характеристики, близкие по форме к идеальным спектральным характеристикам чувствительности. Величины двух коэффициентов маскирования должны быть малы в сравнении с третьим, в противном случае происходит ухудшение отношения сигнал/шум и

усиление заметности цветных окантовок при неточном совмещении сигналов во времени. Кроме того, возникают заметные искажения цвета в зонах переходных процессов сигналов  $E'_R$  и  $E'_B$ .

Члены с коэффициентами  $a_{11}$ ,  $a_{22}$  и  $a_{33}$  представляют собой основные видеосигналы. Остальные элементы  $a_{ij}$  ( $i \neq j$ ) в системе уравнений (1) образуют так называемый сигнал «маски». Процесс линейной цветокоррекции состоит в подборе величин всех девяти коэффициентов  $a_{ij}$ . Для воссоздания баланса белого (неискаженной передачи опорного белого цвета) при изменении коэффициентов маскирования с целью коррекции цвета необходимо добиться выполнения следующих условий:

$$\begin{aligned} a_{11} + a_{12} + a_{13} &= 1; \\ a_{21} + a_{22} + a_{23} &= 1; \\ a_{31} + a_{32} + a_{33} &= 1. \end{aligned} \quad (2)$$

Подставляя  $a_{11}$ ,  $a_{22}$  и  $a_{33}$  из формул (2) в уравнения (1), получаем:

$$\begin{aligned} E'_{RO} &= E'_R + a_{12}(E'_G - E'_R) + a_{13}(E'_B - E'_R); \\ E'_{GO} &= E'_G + a_{21}(E'_R - E'_G) + a_{23}(E'_B - E'_G); \\ E'_{BO} &= E'_B + a_{31}(E'_R - E'_B) + a_{32}(E'_G - E'_B). \end{aligned} \quad (3)$$

Из соотношений (3) следует, что в цветокорректорах установку выходных видеосигналов можно выполнить шестью независимыми регуляторами.

На рис. 1 показаны цветовые искажения цветов, обозначенных цифрами от 1 до 17 (оригинальные цвета), а линии, проведенные от этих точек, определяют величину искажений цветности изображений на экране.

Точка, обозначенная буквой  $W$ , представляет собой координаты цветности опорного «белого» и равна цветности стандартного источника D6500. Из рис. 1 видно, что искажения цветности этого источника равны нулю, что и осуществляется цветокорректором. Таким образом, цветокорректор может осуще-

ставить идеальную коррекцию только одного белого цвета, а остальные цвета будут воспроизводиться на телевизионном экране с ошибками, что является существенным недостатком.

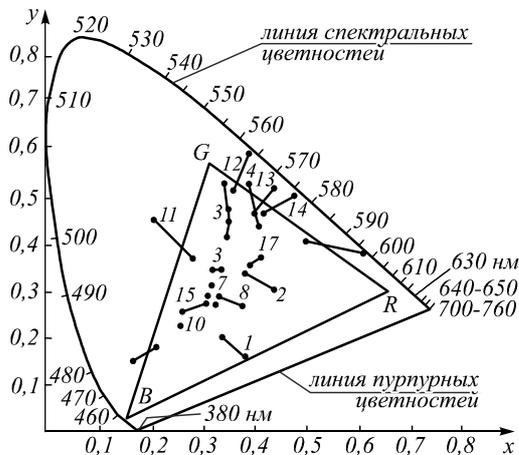


Рис. 1. Искажения цветопередачи телевизионной системы при приеме на телевизор с цветным кинескопом [1, 12]

Треугольник RGB на рис. 1 определяет цветовой охват телевизионного экрана.

Необходимо заметить, что с начала XXI века в качестве телевизионных экранов стали применяться приборы, отличные от кинескопов и, как следствие, имеющие различные координаты цветности основных цветов, как это показано на рис. 2.

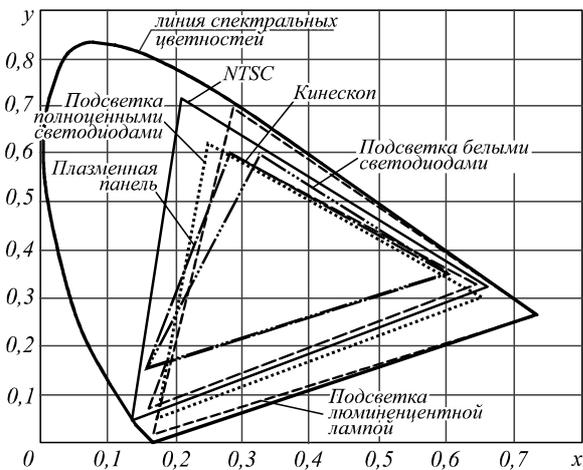


Рис. 2. Координаты цветностей основных цветов современных приборов для телевизионных экранов [12]

Указанный факт приводит к ещё большим цветовым искажениям. И действительно, любые современные телевизоры различных моделей, как правило, даже при одной и той же воспроизводимой картинке имеют различные цветовые оттенки изображения.

Для коррекции искажений на многоспектральных изображениях предлагается использовать, в частности, корректирующие преобразования в пространстве спектрально-контурных элементов с метрикой Хаусдорфа [5].

**Колориметрически точное цветовоспроизведение в телевидении**

Профессор Н.Д. Ньюберг предложил в 1948 году использовать три вида точности воспроизведения

цвета: физический, физиологический и психологический [2]. Согласно Н.Д. Ньюбергу, физическая точность воспроизведения цвета при печати не может быть реализована, так как спектральные характеристики используемых красок значительно отличаются от спектральных характеристик оригинальных изображений. Физиологическая точность воспроизведения цвета означает, что цвета, созданные красителями с разными спектральными характеристиками, визуально будут ощущаться одинаково при одинаковой спектральной характеристике освещения. При изменении освещения цвета будут визуально различимы. Психологическая точность воспроизведения цвета связана с восприятием цвета, обусловленным жизненным опытом человека (деятельностью его головного мозга).

Роберт Хант дал академическое определение шести возможных уровней цветовоспроизведения [11]:

1. Спектральное цветовоспроизведение.
2. Колориметрическое цветовоспроизведение.
3. Точное цветовоспроизведение.
4. Эквивалентное цветовоспроизведение.
5. Согласованное цветовоспроизведение.
6. Выделенное цветовоспроизведение.

Из шести уровней цветовоспроизведения, сформулированных Р. Хантом и приведенных выше, остановимся на втором, связанном с колориметрическим цветовоспроизведением.

Колориметрическое цветовоспроизведение (от англ. – «colorimetric color reproduction») определяется метамерным соответствием репродукции оригинальному изображению, при котором оба имеют одинаковые CIE-трехстимульные значения [6–10, 13, 14]. Итогом является воспроизведение по восприятию, но только в тех случаях, когда оригинал и его репродукция имеют одинаковый размер, окружение и рассматриваются при освещении источниками с одинаковыми спектральными распределениями энергии и фотометрической яркостью.

Цветовоспроизводящее устройство, например, цветной телевизор, имеет три источника света, создающие основные цвета приемника. Яркость каждого основного цвета должна управляться так, чтобы пропорции смеси основных цветов могли изменяться в широких пределах для получения гаммы цветов. В качестве основных цветов аддитивного воспроизводящего устройства (телеприемника) выбираются красный, зеленый и синий цвета, которые можно обозначить R, G и B соответственно. На диаграмме цветности, например, XYZ [15], (или в любой другой системе) эти основные цвета образуют цветовой треугольник, называемый треугольником цветового охвата [15]. Очевидно, что воспроизводящее устройство может создать только те цветности, которые на диаграмме цветности находятся внутри треугольника цветов R, G, B. Воспроизведение цветов, лежащих вне этого треугольника, не реализуемо. Цвета оригинала, лежащие за пределами треугольника, будут воспроизводиться с искажениями насыщенности и цветового тона. Для коло-

риметрически правильного цвета оригинала, находящегося на хроматической диаграмме внутри треугольника цветового охвата, необходимо, чтобы основные цвета имели правильные относительные количества (пропорции смеси) для создания необходимой цветности изображения и обладали правильными абсолютными количествами (яркостями) для создания необходимой яркости изображения.

Пусть координаты цветности передаваемого изображения (оригинала) и его изображения связаны линейными зависимостями:

$$X_o = k_1 X_{II}; Y_o = k_2 Y_{II}; Z_o = k_3 Z_{II}, \tag{4}$$

где  $k_1, k_2, k_3$  – некоторые константы; индекс «О» относится к оригиналу; индекс «II» – к изображению.

Тогда нормированные координаты цветности будут определяться следующими соотношениями:

$$\begin{aligned} x_o &= \frac{X_o}{X_o + Y_o + Z_o} = \frac{k_1 X_{II}}{k_1 X_{II} + k_2 Y_{II} + k_3 Z_{II}}; \\ y_o &= \frac{Y_o}{X_o + Y_o + Z_o} = \frac{k_2 Y_{II}}{k_1 X_{II} + k_2 Y_{II} + k_3 Z_{II}}; \\ z_o &= \frac{Z_o}{X_o + Y_o + Z_o} = \frac{k_3 Z_{II}}{k_1 X_{II} + k_2 Y_{II} + k_3 Z_{II}}. \end{aligned} \tag{5}$$

Для качественной цветопередачи необходимо, чтобы выполнялось условие:

$$k_1 = k_2 = k_3 = k. \tag{6}$$

При выполнении условия (6) из уравнений (5) получаем:

$$x_o = x_{II}; y_o = y_{II}; z_o = z_{II}. \tag{7}$$

Таким образом, при выполнении (4) и (6) цветности передаваемого объекта и его изображение на экране телеприемника колориметрически тождественны. Так как яркости (в абсолютных или относительных величинах) передаваемой сцены и изображения соответственно равны:

$$L_o = Y_o; L_{II} = Y_{II}, \tag{8}$$

то, подставляя (8) в соотношения (4), получаем:

$$L_o = k_2 L_{II}. \tag{9}$$

Это следствие из первого условия колориметрически точной цветопередачи (4).

В телевидении зависимость между  $L_o$  и  $L_{II}$  обычно выражается в виде [16]:

$$L_{II} = C L_o^{\Gamma}, \tag{10}$$

где  $C$  – константа,  $\Gamma$  – градиент передачи яркости.

Функция  $\lg(L_{II}) = \lg(C) + \Gamma \lg(L_o)$  является линейной в логарифмическом масштабе.

Следовательно, для выполнения условия (10) необходимо, чтобы:

$$\Gamma = 1. \tag{11}$$

При выполнении условия (11) градации яркости воспроизводятся без искажений.

В телевизионной системе:  $\Gamma = \gamma \gamma_Z$ , где  $\gamma$  – градиент яркости передающего тракта, включая датчик телевизионного сигнала (передающая камера);  $\gamma_Z$  – градиент

преобразователя «сигнал-свет» (экран телеприемника) вместе с трактом приемника.

Для выполнения условия (11) необходимо иметь:

$$\gamma = \gamma_Z^{-1}. \tag{12}$$

Выполнение условия (12) обычно достигается с помощью гамма-корректора, удовлетворительная работа которого возможна только тогда, когда величина  $\gamma_Z$  является постоянной во всем диапазоне яркостей изображения (для всех трех основных цветов экрана телеприемника), а величина  $\gamma$  – постоянна во всем диапазоне яркостей передаваемого объекта для трех передаваемых основных цветов.

Согласно [16], отклонения величины  $\gamma_Z$  в цветном телевидении должна быть не более  $\pm 4\%$  от номинальной величины как для трех цветовых каналов одного экрана телеприемника, так и для всех экранов отдельных приемников. На рис. 3 показана схема преобразования света в сигнал и сигнала свет в цветном телевидении для случая, когда экран телеприемника является линейным прибором (т.е. величина  $\gamma_Z$  для его модуляционной характеристики равна единице). Такой приемник называется линейным.

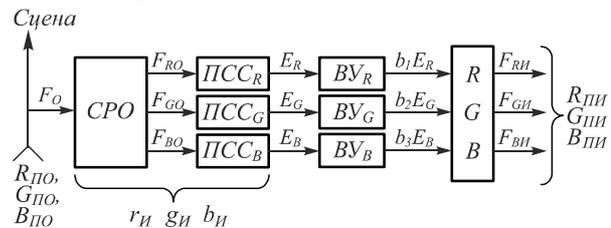


Рис. 3. Схема преобразования света в сигнал и сигнала свет в свет в цветном телевидении с линейным приемником

Передающая камера содержит светорасщепляющую оптику (CPO), разделяющую световой поток  $F_o$  от передаваемой сцены на три световых потока — красный  $F_{RO}$ , зеленый  $F_{GO}$  и синий  $F_{BO}$ . Эти световые потоки попадают на преобразователи «свет-сигнал» соответственно красного, зеленого и синего каналов (ПСС<sub>R</sub>, ПСС<sub>G</sub> и ПСС<sub>B</sub>).

Далее электрические сигналы  $E_i$ , где  $i = R, G, B$  (эти индексы будут сохранены и далее), поступают на соответствующие видеоусилители  $B_U_i$ , имеющие коэффициенты передачи  $b_1, b_2$  и  $b_3$  соответственно. Усиленные сигналы поступают на экран телеприемника и излучают световые потоки  $F_{II}$ . При аддитивном сложении эти световые потоки создают количества основных цветов экрана, равные  $R_{III}, G_{III}$  и  $B_{III}$ , смесь которых воспроизводит цветность передаваемой сцены. Эти количества должны быть равны (или пропорциональны) координатам цвета  $R_{PO}, G_{PO}$  и  $B_{PO}$  передаваемой сцены. Последние можно определить по формулам:

$$\begin{aligned} R_{PO} &= \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \bar{r}_{II} P_{\lambda} d\lambda; & G_{PO} &= \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \bar{g}_{II} P_{\lambda} d\lambda; \\ B_{PO} &= \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \bar{b}_{II} P_{\lambda} d\lambda, \end{aligned} \tag{13}$$

где  $\bar{r}_П, \bar{g}_П, \bar{b}_П$  — удельные координаты спектральных цветов в системе  $RПGПBП$ ;  $P_\lambda$  — спектральная плотность энергии, излучаемая передаваемой сценой.

С другой стороны, сигналы  $E_R, E_G, E_B$  на выходе видеоусилителей передающей камеры равны:

$$E_R = a'_R \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S_R P_\lambda d\lambda; E_G = a'_G \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S_G P_\lambda d\lambda; E_B = a'_B \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S_B P_\lambda d\lambda, \tag{14}$$

где  $S_R, S_G, S_B$  — спектральные характеристики чувствительности камеры, мкА/Вт;  $a'_R, a'_G, a'_B$  — масштабные коэффициенты для перехода от микроампер к вольтам. Если

$$S_R = \bar{r}_П; S_G = \bar{g}_П; S_B = \bar{b}_П, \tag{15}$$

то можно получить:

$$E_R = a'_R R_{ПO}; E_G = a'_G G_{ПO}; E_B = a'_B B_{ПO}. \tag{16}$$

Эти сигналы называются линейными, и они должны быть широкополосными, чтобы в телеприемниках черно-белого и цветного телевидения изображения имели полную четкость независимо от цвета.

Для передаваемой сцены и ее изображения имеем по определению координат цвета:

$$R_{ПO} = \frac{L_{RO}}{L_{[RO]}}; G_{ПO} = \frac{L_{GO}}{L_{[GO]}}; B_{ПO} = \frac{L_{BO}}{L_{[BO]}}, \tag{17}$$

$$R_{ПП} = \frac{L_{RI}}{L_{[RI]}}; G_{ПП} = \frac{L_{GI}}{L_{[GI]}}; B_{ПП} = \frac{L_{BI}}{L_{[BI]}}, \tag{18}$$

где  $L_{RO}, L_{GO}, L_{BO}, L_{RI}, L_{GI}, L_{BI}$  — яркости основных цветов приемника  $RП, GП, BП$ , необходимые для согласования с цветом передаваемой сцены и с цветом изображения соответственно;  $L_{[RO]}, L_{[GO]}, L_{[BO]}, L_{[RI]}, L_{[GI]}, L_{[BI]}$  — яркости единичных количеств основных цветов  $RП, GП, BП$  в системе  $RПGПBП$ , установленные на одной и той же равностимульной цветности  $Ц_p$ .

Условия неискаженного воспроизведения цветности в телеприемнике (4) и (6) означает необходимость выполнить следующие равенства:

$$R_{ПП} = kR_{ПO}; G_{ПП} = kG_{ПO}; B_{ПП} = kB_{ПO}. \tag{19}$$

Условие (19) выполняется, если (15) справедливо, а также если:

$$R_{ПП} = a_1 E_R; G_{ПП} = a_1 E_G; B_{ПП} = a_1 E_B; \tag{20}$$

$$a'_R = a'_G = a'_B = a_0. \tag{21}$$

Действительно, подставляя выражения (16) в (20), получаем (19) в случае, если  $a_1 a_0 = k$ . Здесь  $a_1$  и  $k$  — постоянные коэффициенты. Подставим (17) в (19) и получим при правильной цветопередаче:

$$L_{RI} = k(L_{[RI]}/L_{[RO]})L_{RO}; L_{GI} = k(L_{[GI]}/L_{[GO]})L_{GO}; L_{BI} = k(L_{[BI]}/L_{[BO]})L_{BO}. \tag{22}$$

Вследствие выбора одной и той же равностимульной цветности  $Ц_p$  для оригинала и изображения справедливо следующее:

$$L_{[RI]}/L_{[RO]} = L_{[GI]}/L_{[GO]} = L_{[BI]}/L_{[BO]} = a, \tag{23}$$

где  $a$  — постоянная величина.

Обозначая полную яркость изображения  $L_{П}$  и полную яркость передаваемой сцены  $L_O$ , можно записать:

$$L_{П} = L_{RI} + L_{GI} + L_{BI}; L_O = L_{RO} + L_{GO} + L_{BO}. \tag{24}$$

Подставляя формулы (22) в выражения (24) и учитывая соотношения (23), получаем:

$$L_{П} = akL_O, \tag{25}$$

что соответствует (11).

Итак, для колориметрически верной цветопередачи необходимо соблюдать условие (19), для чего должны выполняться условия (15), (20) и (21) и при этом обеспечивается линейная зависимость между яркостью передаваемой сцены и яркостью изображения, то есть выполняется условие (11).

Условие (15) означает, что спектральные характеристики чувствительности датчиков телевизионного сигнала представляют собой зависимости от модулей удельных коэффициентов  $\bar{r}_П, \bar{g}_П, \bar{b}_П$  в системе определения цвета, в которой за основные цвета приняты основные цвета приемника  $RП, GП, BП$ .

В существующей телевизионной системе телевизионная трехцветная камера формирует три видеосигнала, которые некоторым образом кодируются и передаются на телевизионный приемник. Но по сути сама телевизионная камера является прибором для измерения цвета (колориметром) параллельного действия. Поэтому можно считать видеосигналы видеокамеры пропорциональными координатам цвета. Тогда необходимые значения видеосигнала можно определить из матричного уравнения:

$$\begin{bmatrix} U_R \\ U_G \\ U_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_R & x_G & x_B \\ y_R & y_G & y_B \\ z_R & z_G & z_B \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}. \tag{26}$$

Из этого следует, что для воспроизведения цвета с координатами  $X, Y, Z$  необходимы видеосигналы  $U_R, U_G$  и  $U_B$ , а значит, и координаты цветности. При расчете величин видеосигналов  $U_R, U_G$  и  $U_B$  для передаваемых цветов, цветности которых находятся за пределами цветового охвата экрана телевизионного приемника, будет иметь место отрицательное значение величин видеосигнала, и чтобы избежать этого, необходимо приравнять отрицательные значения нулю. На рис. 4 показаны цветовые искажения при использовании идеальной цветной трехцветной камеры, а в телевизионном приемнике в качестве экрана применен кинескоп стандарта ЕС.

Как видно из рис. 4, цветности оригинала изображения, находящиеся внутри цветового треугольника основных цветов экрана телевизионного приемника, совпадают с воспроизводимым изображением на экране телевизионного приемника. Остальные координаты воспроизводимых цветов (за пределами тре-

угольника цветового охвата) находятся на наиболее кратчайшем расстоянии от стороны треугольника основных цветов экрана телевизионного приемника.

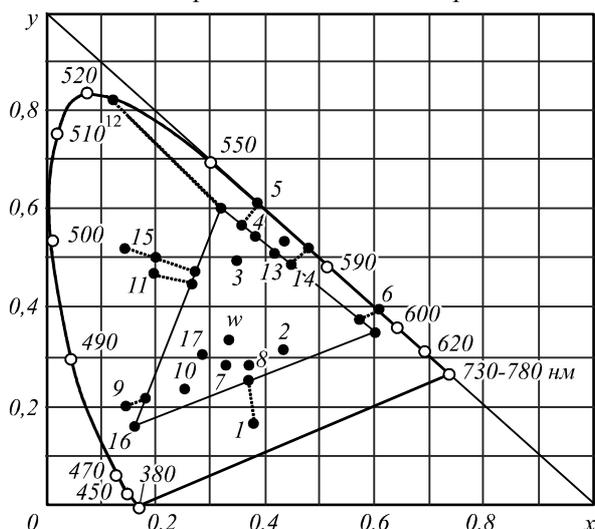


Рис. 4. Цветовые искажения в телевизионной системе, полученные путем передачи сигналов цвета и воспроизведенные на экране, имеющем прибор с использованием люминофоров (кинескоп стандарта ЕС) [17]

На рис. 5 показана предлагаемая в данной работе добавляемая схема. Рассмотрим данную схему. Принятый сигнал с телецентра поступает на первый вход вычислительного устройства 1, на второй вход этого устройства поступают из постоянного запоминающего устройства 2 девять величин обратной матрицы, приведенной в выражении 5. Значения этих коэффициентов определяются один раз и зависят от типа экрана телевизионного приемника. В вычислительном устройстве происходит расчет величин видеосигналов  $U_R$ ,  $U_G$ ,  $U_B$  для воспроизведения на экране цвета с цветовыми координатами  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ . В вычислительном устройстве 1 должна быть использована простая логика, а именно: если любое вычисленное значение  $U_R$ ,  $U_G$ ,  $U_B$  меньше 0, то оно приравнивается нулю.

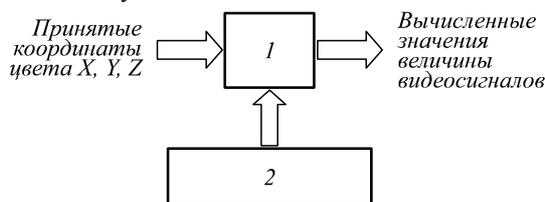


Рис. 5. Добавляемый в телевизионный приемник узел

### Заключение

В современной системе телевидения можно значительно повысить качество цветовоспроизведения, т.е. уменьшить цветовые искажения. При этом цветовая картинка на множестве телевизионных приемниках будет восприниматься одинаково. Для этого достаточно принять, что видеосигнал телецентра содержит координаты цвета каждого пикселя изображения. Эти координаты цвета представляются в некой колориметрической системе телевизионной ка-

меры. Они линейно отличаются от колориметрической системы МКО, например, XYZ, поэтому, сделав необходимые вычисления требуемой величины видеосигнала для управления телевизионным экраном, можно добиться воспроизведения цвета, колориметрически совпадающего с передаваемым телевизионной камерой. Таким образом, на экране будет воспроизводиться цвет без искажений, т.е. произойдет цветокоррекция для всех цветов, координаты цветности которых находятся внутри треугольника цветового охвата телевизионного приемника.

### Литература

1. **Новаковский, С.В.** Цветное телевидение (Основы теории цветовоспроизведения) / С.В. Новаковский. – М.: Связь, 1975. – 376 с.
2. **Нюберг, Н.Д.** Теоретические основы цветовой репродукции / Н.Д. Нюберг. – М.: Советская наука, 1948. – 176 с.
3. **Хант, Р.В.Г.** Цветовоспроизведение / Р.В.Г. Хант; пер. с англ. – Изд. 6-е, испр. – Санкт-Петербург: 2009. – 928 с.
4. **Ложкин, Л.Д.** Дифференциальная колориметрия / Л.Д. Ложкин. – Самара: ИУНЛ ПГУТИ, 2010. – 320 с. – ISBN: 978-5-904029-15-9.
5. **Никоноров, А.В.** Коррекция искажений многоспектральных изображений на основе модели спектрально-контурных элементов / А.В. Никоноров // Компьютерная оптика. – 2014. – Т. 38, № 2. – С. 304-313. – DOI: 10.18287/0134-2452-2014-38-2-304-313.
6. **Lozhkin, L.D.** Color-discrimination thresholds and differential geometry / L.D. Lozhkin // Journal of Optical Technology. – 2012. – Vol. 79, Issue 2. – P. 75-79. – DOI: 10.1364/JOT.79.000075.
7. **Шкловер, Д.А.** Универсальный фотоэлектрический колориметр / Д.А. Шкловер, Р.С. Иоффе // Известия АН СССР, ОТН, ВЭИ. – 1951. – № 5. – С. 667-681.
8. ГОСТ 19432-76. Телевидение цветное. Основные параметры системы цветного телевидения. – М.: Госстандарт, 1976.
9. **Новаковский, С.В.** Техника цветного телевидения / С.В. Новаковский, Е.З. Сорока, Б.Н. Хохлов [и др.]; под ред. С.В. Новаковского. – М.: Связь, 1976. – 494 с.
10. **Измайлов, Ч.А.** Сферическая модель цветоразличения / Ч.А. Измайлов. – М.: МГУ, 1980. – 171 с.
11. **Юстова, Е.Н.** Цветовые измерения (колориметрия) / Е.Н. Юстова. – СПб: изд-во СПбГУ, 2000. – 399 с. – ISBN: 5-288-02648-3.
12. **Ложкин, Л.Д.** Цвет, его измерение и восприятие / Л.Д. Ложкин // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2012. – Т. 15, № 3. – С. 110-122.
13. **Ложкин, Л.Д.** Цвет, его воспроизведение и восприятие в телевидении / Л.Д. Ложкин, А.А. Вороной. – Palmarium Academic Publishing, 2016. – 372 с. – ISBN: 978-3-659-72160-1.
14. **Ложкин, Л.Д.** Цветовые искажения в телевизионном тракте «от света до света» / Л.Д. Ложкин, А.А. Солдатов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – Вып. 12, № 6. – С. 964-969.
15. **Ложкин, Л.Д.** Цветовые искажения в телевидении и методы их уменьшения / Л.Д. Ложкин, В.А. Кононенко, А.А. Вороной // Инфокоммуникационные технологии. – 2014. – Т. 12, № 4. – С. 82-87.
16. **Ложкин, Л.Д.** Цветовоспроизведение в телевидении без искажений / Л.Д. Ложкин, В.А. Неганов // Успехи современной радиоэлектроники. – 2015. – № 11. – С. 45-48.

17. Ложкин, Л.Д. Искажения цвета на экране телеприемника в зависимости от внешней засветки и метод коррекции этих искажений / Л.Д. Ложкин // Радио-

техника и электроника. – 2013. – Т. 58, № 1. – С. 91-96. - DOI: 10.7868/S0033849412100063.

#### Сведения об авторах

**Ложкин Леонид Дидимович**, 1946 года рождения, доктор технических наук, доцент, в 1972 году окончил Куйбышевский электротехнический институт связи (ныне — Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики) по специальности «Радиосвязь и радиовещание», работает профессором кафедры основ конструирования и технологии радиотехнических устройств в Поволжском государственном университете телекоммуникаций и информатики. Область научных интересов: колориметрия, телевидение, оптика, обработка изображений, космология и квантовая физика. E-mail: [leon.lozhkin@yandex.ru](mailto:leon.lozhkin@yandex.ru).

**Осипов Олег Владимирович**, 1975 года рождения, доктор физико-математических наук, доцент, в 1997 году окончил Самарский государственный университет (ныне — Самарский университет) по специальности «Физика», работает проректором по информатизации и образовательным технологиям в Поволжском государственном университете телекоммуникаций и информатики. Область научных интересов: электродинамика СВЧ, метаматериалы, оптика, обработка изображений. E-mail: [o.osipov@psuti.ru](mailto:o.osipov@psuti.ru).

**Вороной Андрей Андреевич**, 1984 года рождения, кандидат физико-математических наук, в 2005 году окончил Поволжскую государственную академию телекоммуникаций и информатики (ныне — Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики) по специальности «Многоканальные телекоммуникационные системы», работает доцентом кафедры основ конструирования и технологий радиотехнических систем в Поволжском государственном университете телекоммуникаций и информатики. Область научных интересов: оптика, электродинамика СВЧ, электропитание устройств инфокоммуникаций, безопасность жизнедеятельности. E-mail: [andrew555\\_2000@front.ru](mailto:andrew555_2000@front.ru).

ГРНТИ: 29.31.29

Поступила в редакцию 2 ноября 2016 г. Окончательный вариант – 23 января 2017 г.

## COLOR CORRECTION IN THE TRICHROMATIC COLOR REPRODUCTION DEVICES

L.D. Lozhkin<sup>1</sup>, O.V. Osipov<sup>1</sup>, A.A. Voronoy<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Federal State Budget Educational Institution of Higher Education

"Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics", Samara, Russia

### Abstract

Topics associated with color distortion that occurs in modern television systems are discussed in this article. The distortion of the image colors in comparison with the object colors for standard color correction circuits in a chamber channel television system is shown graphically. Considering that modern television screens have different color gamut, the magnitude of color distortion will be different for different models of TV screens. With a view of reducing the color distortion, a color correction method based on comparison of color coordinates in a colorimetric system of television cameras, with their colorimetric values measured in the CIE (Commission Internationale de l'Éclairage) system is proposed.

**Keywords:** color, image analysis, dispersion, colorimetric system of coordinates, color gamut of the TV screen, color triangle of a color-reproduction device.

**Citation:** Lozhkin LD, Osipov OV, Voronoy AA. Color correction in the trichromatic color reproduction devices. *Computer Optics* 2017; 41(1): 88-94. DOI: 10.18287/2412-6179-2017-41-1-88-94.

### References

- |  |   |
|--|---|
| <p>[1] Novakovskiy SV. Color television (fundamentals of the color reproduction theory) [In Russian]. Moscow: "Svyaz" Publisher; 1975.</p> <p>[2] Nyberg ND. The theoretical basis of the color reproduction [In Russian]. Moscow: "Sovetskaya Nauka" Publisher; 1948.</p> <p>[3] Hunt RWG. The reproduction of colour. Chichester, England: John Wiley &amp; Sons; 2004. ISBN: 978-0-470-02425-6.</p> <p>[4] Lozhkin LD. Differential colorimetry [In Russian]. Samara: "IUNL PGUTI" Publisher; 2010. ISBN: 978-5-904029-15-9.</p> <p>[5] Nikonov AV. Spectrum shape elements model for correction of multichannel images. <i>Computer Optics</i> 2014;</p> | <p>38(2): 304-313. DOI: 10.18287/0134-2452-2014-38-2-304-313.</p> <p>[6] Lozhkin LD. Color-discrimination thresholds and differential geometry. <i>Journal of Optical Technology</i> 2012; 79(2). DOI: 10.1364/JOT.79.000075.</p> <p>[7] Sklover DA. Universal photoelectric colorimeter [In Russian]. <i>Izvestiya AN SSSR, OTN, VEI</i> 1951; 5: 667-681.</p> <p>[8] GOST 19432-76. Color television. Main parameters of the system color television [In Russian]. Moscow: "Goststandart" Publisher; 1976.</p> <p>[9] Novakovskiy SV, ed. Technology of color television [In Russian]. Moscow: "Svyaz" Publisher; 1976.</p> |
|--|---|

- [10] Izmailov CH. A Spherical model of color distinction [In Russian]. Moscow: Moscow State University Publisher; 1980.
- [11] Ustova EN. Color measurement (colorimetry) [In Russian]. Saint-Petersburg; "Saint-Petersburg university" Publisher; 2000. ISBN: 5-288-02648-3.
- [12] Lozhkin LD. Color, its measurement and perception [In Russian]. Physics of Wave Processes and Radio Systems 2012; 15(3): 110-122.
- [13] Lozhkin LD, Voronoy AA. Color, its reproduction and perception in television [In Russian]. Palmarium Academic Publishing; 2016. ISBN: 978-3-659-72160-1.
- [14] Lozhkin LD, Soldatov AA. Color distortion in the TV path «from light to light» [In Russian]. International journal of applied and fundamental researches 2015; 12(6): 964-969.
- [15] Lozhkin LD, Kononenko VA, Voronoy AA. Color distortion in television and methods of reduction. Infokommunikacionnye tehnologii 2014; 12(4): 82-87.
- [16] Lozhkin LD, Neganov VA. Color reproduction in a television without distortion. Uspekhi sovremennoi radioelektroniki 2015; 11: 45-48.
- [17] Lozhkin LD. Color distortion on the screen of the TV receiver depending on the external exposure and the method of correction of these distortions. Journal of Communications Technology and Electronics 2013; 58(1): 82-86. DOI: 10.1134/S1064226912100063.

---

#### *Authors' information*

**Leonid Didimovich Lozhkin** (b. 1946), Doctor of Technical Sciences, Assistant professor, graduated from Kuibyshev Electrotechnical Institute of Communications in 1972 (presently – Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics), majoring in «Radio and Television Broadcasting». Currently he is the professor of the Fundamentals of Design and Technology of Radio Engineering Device department in Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics (PSUTI). Research interests include colorimetry, TV, optics, image processing, cosmology and quantum physics. E-mail: [leon.lozhkin@yandex.ru](mailto:leon.lozhkin@yandex.ru).

**Oleg Vladimirovich Osipov** (b. 1975), Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Assistant professor, graduated from Samara State University in 1997 (presently – Samara National Research University), majoring in «Physics». Currently he is the Vice-Rector for Informatization and Educational Technology in Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics (PSUTI). Research interests include microwave electrodynamics, metamaterials, optics, image processing. E-mail: [o.osipov@psuti.ru](mailto:o.osipov@psuti.ru).

**Andrey Andreevich Voronoy** (b. 1984), PhD of Physical and Mathematical Sciences, graduated from Povolzhskaya State Academy of Telecommunications and Informatics in 2005 (presently – Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics), majoring in «Multichannel Telecommunication Systems». Currently he is the assistant professor in Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics (PSUTI). Research interests include optics, microwave electrodynamics, power supply device of info-communications, life safety. E-mail: [andrew555\\_2000@front.ru](mailto:andrew555_2000@front.ru).

---

*Received November 2, 2016. The final version – January 23, 2017.*

---