

Передача цвета и его точное воспроизведение на экране телевизионного приемника

Л.Д. Ложкин, В.А. Неганов, Л.Г. Шатов

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики
443010, Российская Федерация, г. Самара
ул. Л. Толстого, 23

Показано, что цвета, координаты цветности которых находятся внутри треугольника цветовой охвата телевизионного экрана, возможно воспроизвести колориметрически точно, т. е. без цветовых искажений. Предложен способ реализации телевизионной системы с колориметрически точным воспроизведением цветности изображения.

Ключевые слова: передача цвета, телевизионный приемник, координаты цветности, цветовой охват, цветовые искажения.

Введение

С 1967 г. в нашей стране ведутся регулярные цветные телепередачи. За этот период техника цветного телевидения широко шагнула вперед. Цветные трехлучевые кинескопы телеприемников заменили панели на жидких кристаллах и плазме. Яркость и контрастность цветного телевизионного изображения значительно превосходит эти же параметры у цветных кинескопов. Снята проблема сведения лучей, присущая трехлучевому кинескопу. Качество цветного изображения стало значительно лучше, а полный переход на цифровое цветное телевидение еще более повысит качество цветной телевизионной репродукции.

Но это разнообразие устройств, на основе которых построены современные экраны телеприемников, приводит к цветовым различиям воспроизводимых сцен различных телеприемников.

Далее покажем, каким образом можно получить колориметрически точное воспроизведение цвета на экране телеприемника.

1. Искажение цвета в телевидении

Рассмотрим существующую систему телевидения в аспекте цветовых искажений. В телевизионных системах осуществляется балансировка камерного канала под «опорный» белый цвет. Суть этой балансировки заключается в следующем. При передаче «опорного» белого цвета камерный канал настраивается так, что

цветовые сигналы трехцветной телевизионной камеры были равны между собой и составляли значения, равные единице. При этом экран телеприемника должен воспроизвести цветность «опорного» белого. Источники «опорного» белого для разных стандартов несколько отличаются. В нашей стране принят европейский стандарт, который предполагает стандартный источник D6500 с координатами цветности $x = 0,313$ и $y = 0,329$ [1].

Указанные настройки камерного канала осуществляется устройствами, называемыми цветокорректоры камерного канала. Недостаток такой системы заключается в том, что происходит точное цветовоспроизведение только одной цветности, равной цветности «опорного» белого, а остальные цвета воспроизводятся с ошибками.

Известно, что сигналы трехцветной телевизионной камеры определяются согласно следующему выражению:

$$U_i = K_i \int_{380}^{780} E(\lambda)\rho(\lambda)\delta_i(\lambda)d\lambda, \quad (1)$$

где $i = R, G, B$; K_i – коэффициент передачи цветного канала датчика; $E(\lambda)$ – спектральное распределение энергии источника освещения; $\rho(\lambda)$ – спектральная характеристика отражения объекта; $\delta_i(\lambda)$ – спектральная характеристика чувствительности i канала телевизионной камеры.

Для расчетов цветовых искажений была разработана компьютерная программа, моделирую-

щая процесс передачи и воспроизведения цвета в телевидении «от света до света» [3].

Балансировка экрана телеприемника под «опорный белый» в разработанной программе производилась в соответствии со следующими формулами:

$$\begin{bmatrix} K_R \\ K_G \\ K_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_R & x_G & x_B \\ y_R & y_G & y_B \\ z_R & z_G & z_B \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где $x_R, y_R, z_R, x_G, y_G, z_G, x_B, y_B, z_B$ – координаты цветности вершин треугольника цветового охвата (основных цветов) экрана; x_0, y_0, z_0 – координаты цветности опорного «белого»; K_R, K_G, K_B – коэффициенты передачи усилителей видеосигналов R, G и B телеприемника.

Очевидно, что спектр воспроизведенной цветности на экране телеприемника опорного «белого» (в нашем случае цветность источника D6500) не будет равен спектру стандартного источника, который освещает телекамеру. В этом случае эти два излучения (передаваемый источник и его изображение на экране) являются метамерами и воспринимаются глазом как источники одинаковой цветности.

Эта программа была зарегистрирована в ОФАП [4].

Для определения цветности, воспроизводимой на экране телевизионного приемника, в программе были использованы следующие выражения [5]:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_R & x_G & x_B \\ y_R & y_G & y_B \\ z_R & z_G & z_B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_R \\ U_G \\ U_B \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где X, Y, Z – координаты цвета в системе МКО 1931 г. (x, y); $x_R, y_R, z_R, x_G, y_G, z_G, x_B, y_B, z_B$ – координаты цветности основных цветов экрана телевизионного приемника; U_R, U_G, U_B – значения величин видеосигнала, определенные по (1).

Из (3) легко определяются координаты цветности изображения на экране телевизионного приемника по формулам:

$$\begin{aligned} x &= X / (X + Y + Z), \\ y &= Y / (X + Y + Z). \end{aligned} \quad (4)$$

Из (3) видно, что цвет (а значит, и цветность), воспроизводимый на экране телевизионного приемника, зависит от координат вершин основных цветов экрана. В настоящее время существует несколько типов устройств, на основе которых изготавливаются телевизионные экраны.

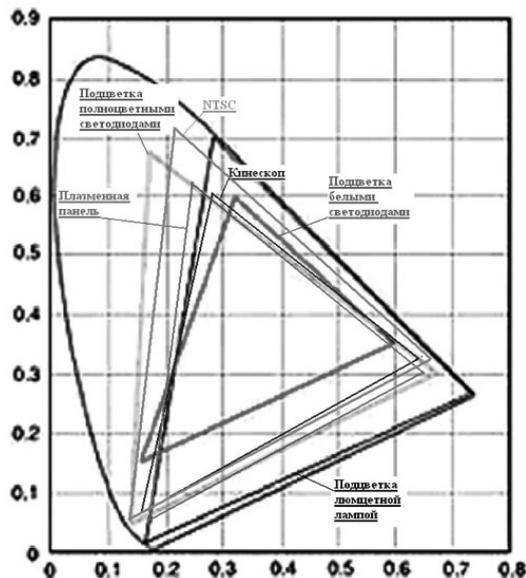


Рис. 1. Цветовой охват NTSC, кинескопа (ЕС), плазменной панели и ЖК

С помощью разработанной программы были рассчитаны ожидаемые цветовые искажения в системе «от света до света» при идеальной телевизионной камере со следующими экранами:

- жидкокристаллическая панель с освещением белыми светодиодами;
- жидкокристаллическая панель с освещением полноцветными светодиодами;
- с освещением люминесцентной лампой;
- прибор, использующий люминофоры (стандарт NTSC);
- экран с максимальным цветовым охватом (лазерный).

На рис. 1 приведены треугольники основных цветов современных экранов телевизионных приемников.

Для примера на рис. 2 приведены результаты расчетов цветовых искажений при воспроизведении на экране стандарта ЕС.

Поясним этот рисунок. Точки с числами 1 до 17 обозначают исходные цвета, оптические спектры которых были предварительно подобраны так, чтобы координаты цветности находились в различных участках цветового локуса. От этих точек проведены штриховые линии к точкам цветности, которые воспроизводятся на экране телеприемника. Результаты вычислений даны в более привычной системе координат МКО 1931 г. (x, y), но тем не менее разработанная программа позволяет производить расчеты и в равноконтрастной системе координат МКО 1960 г. (u, v).

В обоих случаях расчетов в выходную таблицу результаты даются в двух системах координат.

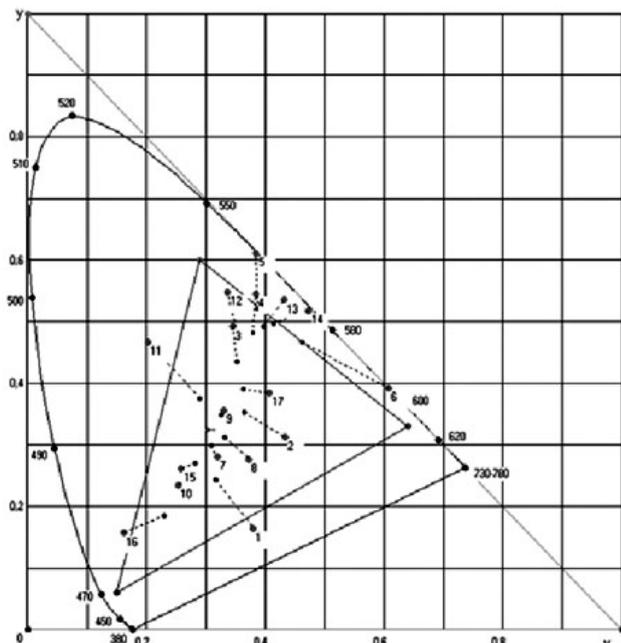


Рис. 2. Искажения цветопередачи системы ЦТВ при приеме на экран, имеющий прибор с использованием люминофоров (кинескоп стандарт ЕС)

Спектральная характеристика чувствительности каналов R , G и B телевизионной камеры, в расчетах принималось три варианта:

а) спектральные характеристики чувствительности каналов R , G и B телевизионной камеры совпадают с кривыми сложения колориметрической системы МКО 1931 г. (x, y, z) , изображенных на рис. 3. При этом кривая $\bar{x}(\lambda)$ совпадает с кривой спектральной характеристикой чувствительности красного канала $\delta_R(\lambda)$, кривая $\bar{y}(\lambda) - \delta_G(\lambda)$ и кривая $\bar{z}(\lambda) - \delta_B(\lambda)$. Такую камеру будем называть идеальной. На практике такие телевизионные камеры не применяются ввиду сложности получения двухгорбной кривой спектральной характеристики чувствительности;

б) спектральные характеристики чувствительности каналов G и B телевизионной камеры совпадают с кривыми сложения колориметрической системы МКО 1931 г. (x, y, z) , причем для зеленого канала кривая $\bar{y}(\lambda)$ совпадает с кривой чувствительности зеленого канала $\delta_G(\lambda)$; кривая $\bar{z}(\lambda) - \delta_B(\lambda)$. Кривая красного канала R совпадает с кривой, предложенной Д.А. Шкловером, которая является одногорбой и определяется как [6]

$$\bar{x}_{III}(\lambda) = 0.833 \bar{x}(\lambda) + 0.333 \bar{y}(\lambda) - 0.1;$$

в) то же самое, что и вариант б, но кривая красного канала совпадает с частью кривой $\bar{x}(\lambda)$ (рис. 4).

Итак показано, что координаты воспроизводимой цветности на экране телеприемника зависят

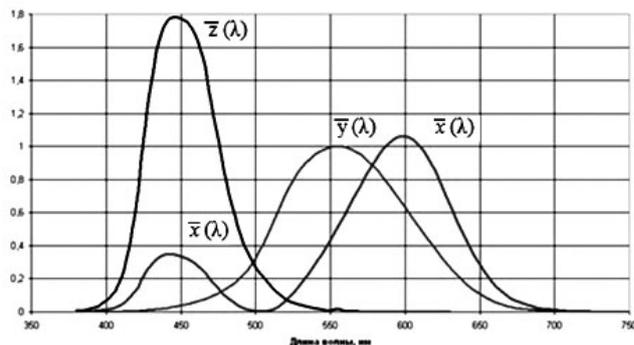


Рис. 3. Кривые сложения цветов в системе XYZ МКО при источнике E . Яркостные коэффициенты $L_X : L_Y : L_Z = 0 : 1 : 0$

от цветового охвата экрана, а значит, цветовые искажения телевизионного изображения будут различны в зависимости от типа экрана телевизора. И только одна цветность воспроизводится в телевидении без искажений – это цветность «опорного» белого.

2. Колориметрически точное цветовоспроизведение в ТВ

Профессор Н.Д. Ньюберг предложил в 1948 г. использовать три понятия точности воспроизведения цвета [8].

Роберт Хант дал академическое определение шести возможных уровней цветовоспроизведения [9]:

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

Из шести определений, сформулированных Р. Хантом, остановимся на втором, а именно колориметрическом цветовоспроизведении.

Колориметрическое цветовоспроизведение (colorimetric color reproduction) определяется метомерным соответствием репродукции оригинальному изображению, при котором оба имеют одинаковые CIE-трехстимульные значения. Итогом является воспроизведение по восприятию, но только в тех случаях, когда оригинал и его репродукция имеют одинаковый размер, окружение и рассматриваются при свете источников с одинаковыми спектральным распределением энергии и фотометрической яркостью. Однако автор [10] не считает равенство яркости обязательным требованием колориметрического цветовоспроизведения.

В существующей телевизионной системе телевизионная трехцветная камера формирует

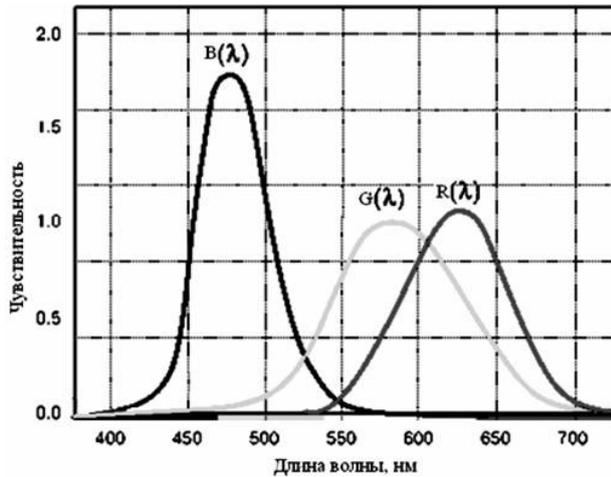


Рис. 4. Спектральная характеристика чувствительности «реальной» телекамеры

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, что видеосигналы видеокамеры пропорциональны координатам цвета. Тогда необходимые значения видеосигнала можно определить из матричного уравнения (3), а именно:

$$\begin{bmatrix} U_R \\ U_G \\ U_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_R & x_G & x_B \\ y_R & y_G & y_B \\ z_R & z_G & z_B \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}. \tag{5}$$

Из (5) следует, что для воспроизведения цвета с координатами X, Y, Z необходимы видеосигналы U_R, U_G, U_B , а значит, и координаты цветности в соответствии с (4). При расчете величин видеосигналов U_R, U_G, 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 к нулю. На рис. 5 показаны цветовые искажения при использовании идеальной цветной трехцветной камеры, а в телевизионном приемнике в качестве экрана применена тот же кинескоп стандарта ЕС. Обозначение на этом рисунке то же, что и на рис. 2.

Как видно из рис. 2, цветности, находящиеся в внутри цветового треугольника основных цветов экрана телевизионного приемника, оригинала изображения совпадают с воспроизводимым изображением на экране телевизионного приемника. Остальные координаты воспроизводимых цветов (за пределами треугольника цветового

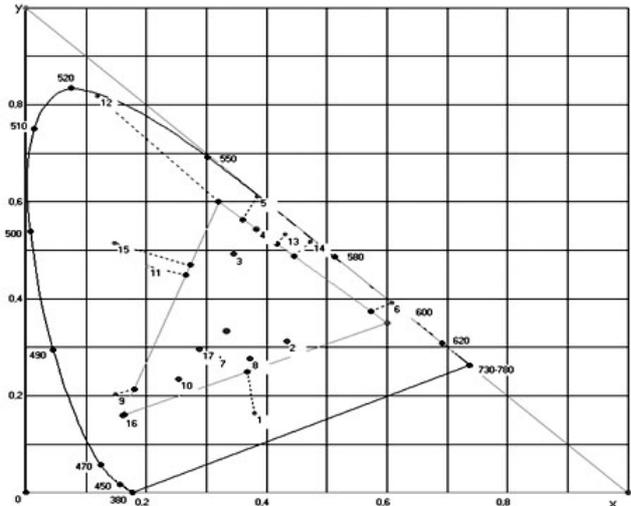


Рис. 5. Цветовые искажения в телевизионной системе, полученные путем передачи сигналов цвета и воспроизведенные на экране, имеющем прибор с использованием люминофоров (кинескоп стандарт ЕС)

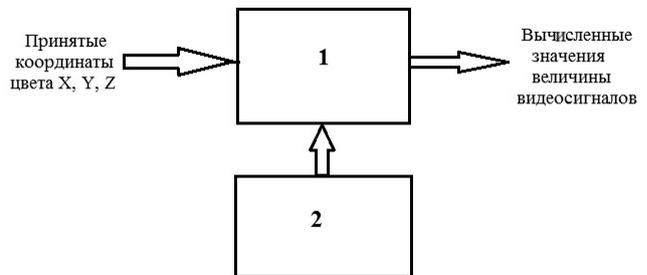


Рис. 6. Добавляемый узел в телевизионный приемник

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

На рис. 6 показана добавляемая схема. Рассмотрим эту 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 единожды и зависят от типа экрана телевизионного приемника, а еще лучше однажды измеренные координаты цветности основных цветов для конкретного телевизионного экрана и расчета коэффициентов обратной матрицы. В вычислительном устройстве происходит вычисление величин видеосигналов U_R, U_G, U_B для воспроизведения на экране цвета с координатами X, Y, Z . В вычислительном устройстве (1) должна быть использована простая логика, а именно: если значение любого вычисленного значения U_R, U_G, U_B меньше 0, то его значение приравнивается 0.

Выше было сказано, что практическая реализация двухгорбной кривой спектральной

чувствительности затруднена, и на практике гораздо легче реализовать одногорбую кривую спектральной характеристики чувствительности, например, с кривой, предложенной Д.А. Шкловером, или кривую красного канала, как это показано на рис. 3, и в этом случае будем иметь искаженные координаты цвета на определенную величину. Обычно измерение координат цветности с помощью классического колориметра параллельного действия (в нашем случае мы предложили считать трехцветную телевизионную камеру именно таким прибором) производится с точностью $\mp 0.01 \div 0.05$, что составляет в пределах от 1.75 до 8.7 порогов МакАдама.

Необходимо также учесть, что, согласно [7], допустимые отклонения координат цветности основных цветов составляют ∓ 0.01 , что также приводит к дополнительным цветовым искажениям порядка 2 порогов МакАдама.

Заключение

Показано, что практически можно значительно уменьшить цветовые искажения в телевидении, при этом упрощается схема камерного канала телецентра, но повышаются требования к спектральным характеристикам чувствительности самой трехцветной телевизионной камеры. Также должны быть повышены требования на уменьшение разброса координат цветности однотипных телевизионных экранов при их массовом изготовлении либо их измерение с точностью, рекомендованной ГОСТом. При этом незначительно усложняется схема самого телевизионного приемника.

Список литературы

1. Новаковский С.В. Цвет в цветном телевидении. М.: Радио и связь, 1986. 288 с.
2. Новаковский С.В. Техника цветного телевидения / под ред. заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, доктора технических наук, профессора С.В. Новаковского. М.: Связь, 1976. 494 с.
3. Lozhkin L.D. Color-discrimination thresholds and differential geometry // Journal of Optical Technology. 2012. V. 79. № 2. P. 75–79.
4. Ложкин Л.Д. Образовательный web-сайт по информационным технологиям: свидетельство об отраслевой регистрации разработки № ОФАП 11710. № ВНИИЦ 50200802240; заявл. 10.11.2008; дата регистр. 14.11.2008. URL: http://ofap.ru/rto_files/11710.doc от 30.10.2008
5. Ложкин Л.Д. Дифференциальная колориметрия: монография. Самара: ИУНЛ ПГУТИ, 2010. 320 с.
6. Шкловер Д.А., Иоффе Р.С. Универсальный фотоэлектрический колориметр // Известия АН СССР, ОТН, ВЭИ. 1951. № 5. С. 667–681.
7. ГОСТ 19432–76. Телевидение цветное. Основные параметры системы цветного телевидения. М.: Госстандарт, 1976. 15 с.
8. Нюберг Н.Д. Теоретические основы цветовой репродукции. М.: Советская наука, 1948. 176 с.
9. Хант Р.В.Г. Цветовоспроизведение / пер. А.Е. Шадрин. 6-е изд. СПб., 2009. 888 с.
10. Измайлов Ч.А. Сферическая модель цветоразличения. М.: МГУ, 1980. 171 с.

Transmission and current color reproduction on the screen of television receiver

L.D. Lozhkin, V.A. Neganov, L.G. Shatov

It is shown that the color chromaticity coordinates, which are located inside the triangle gamut screen television can play back STI colorimetric accurately, i.e., with no color distortion. Provides a method for implementing a television system with a colorimetric accurate playback color image.

Keywords: color reproduction, the television set, the chromaticity coordinates, color coverage, color distortion.
