

- Local Positioning and RFID. Canada, IMWS 2009. – P. 1-4.
3. Патент US 7763840. Radiant Energy Collector / Anderson A., 27.07.2010.
  4. Metamaterials Handbook. Edited by F. Capolino. CRC Press, V.1, 2009. – 1736 p.
  5. Осипов О.В., Плотников А.М., Салимова Н.Р. Использование эффекта азимутального рассеяния электромагнитных волн метаструктурой на основе элементов Теллеждена в прикладных задачах электродинамики // ИКТ. Т.10, №1, 2012. – С. 8-15.
  6. Lindell I.V., Sihvola A.H., Tretyakov S.A., Viitanen A.J. Electromagnetic waves in chiral and bi-isotropic media. London: Artech House, 1994. – 291 p.
  7. Третьяков С.А. Электродинамика сложных сред: киральные, биизотропные и некоторые бианизотропные материалы // Радиотехника и электроника. Т.39, №10, 1994. – С. 1457-1470.
  8. Неганов В.А., Осипов О.В. Отражающие, волноведущие и излучающие структуры с киральными элементами. М.: Радио и связь, 2006. – 280с.
  9. Каценеленбаум Б.З., Коршунова Е.Н., Сивов А.Н., Шатров А.Д. Киральные электродинамические объекты // Успехи физических наук. Т.167, №11, 1997. – С.1201-1212.
  10. Semchenko I.V., Tretyakov S.A., Serdyukov N.N. Research on chiral and bianisotropic media in Byelorussia and Russia in the last ten years // PIER. V.12, 1006. – P.335-370.
  11. Bragg W.L. The Diffraction of Short Electromagnetic Waves by a Crystal // Proceedings of the Cambridge Philosophical Society. V. 17, 1914. – P.43.

## CHIRAL METAMATERIALS FOR FREQUENCY SELECTIVE CONCENTRATION MICROWAVE ENERGY

Osipov O.V., Pochepcov A.O., Yurasov V.I.

**Electrodynamics analysis of metamaterial formed by periodically placing thin-wire multiturn spiral elements in a homogeneous dielectric container. Solved the problem of reflection of a plane electromagnetic wave from said metamaterial and the coefficients of reflection and transmission main and cross-polarized components of the field. It is proved that the metamaterial can convert radially incident super high-frequency (UHF) radiation at the resonant frequency surface waves. Calculated frequency dependence of moduli of the coefficients of reflection and transmission main and cross-polarized components of the field at different geometrical dimensions of the container and spiral inclusions. It is shown that the resonant frequency of the incident field in the conversion surface waves satisfy a relation similar to the Bragg condition for the crystalline environment.**

*Keywords: chiral media, metamaterial, energy conservation, low-reflection coating, protective coating, optimization.*

Осипов Олег Владимирович, д.ф.-м.н., проректор по информации и образовательным технологиям Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). Тел. (8-846) 333-32-04, 8-917-941-10-73. E-mail: o.osipov@psuti.ru

Почепцов Андрей Олегович, аспирант Кафедры основ конструирования и технологий радиотехнических систем ПГУТИ. Тел. 8-917-163-55-50. E-mail: a.pochepcov@psuti.ru

Юрасов Виктор Игоревич, ведущий менеджер компании «Huawei Technologies» (г. Нижний Новгород). Тел. 8-831-415-52-54. E-mail: jurassov.victor@yandex.ru

УДК 621.317.621.397.13

## ЦВЕТОВЫЕ ИСКАЖЕНИЯ В ТЕЛЕВИДЕНИИ И МЕТОДЫ ИХ УМЕНЬШЕНИЯ

*Ложкин Л.Д., Кононенко А.В., Вороной А.А.*

Показаны источники цветовых искажений в телевидении и что цвета, координаты цветности которых находятся внутри треугольника цветового охвата экрана телевизионного (ТВ) приемника, возможно воспроизвести колориметрически точно, то есть без цветовых искажений.

Предложен способ реализации ТВ-системы с колориметрически точным воспроизведением цветности изображения.

**Ключевые слова:** цветовой локус, МКО, телевизионная камера, координаты цветности.

## Введение

С 1967 г. в нашей стране ведутся регулярные цветные ТВ-передачи. За этот период техника цветного ТВ широко шагнула в перед. Цветные трехлучевые кинескопы ТВ-приемников заменили панели на жидких кристаллах и плазме. Яркость и контрастность цветного ТВ-изображения значительно превосходит эти же параметры у цветных кинескопов. Снята проблема сведения лучей, присущая трехлучевому кинескопу. Качество цветного изображения стало значительно лучше, а с полным переходом на цифровое цветное ТВ-вещание качество цветной репродукции повысится еще больше. Но разнообразие устройств, на основе которых построены современные экраны ТВ-приемников, приводит к цветовым различиям воспроизводимых на различных приемниках. Покажем, каким образом можно получить колориметрически точные воспроизведения цвета на экране ТВ-приемника.

## Искажение цвета в телевидении

Для уменьшения цветовых искажений, особенно в области «белых цветов», в ТВ-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 ТВ-камеры были бы равны между собой и составляли значения, равные единице. При этом экран ТВ-приемника должен воспроизвести цветность «опорного» белого. Источники «опорного» белого для разных стандартов несколько различаются. 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 осуществляют устройства, называемые цветокорректорами 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 ТВ-камеры определяются согласно следующему выражению

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

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 ТВ-камеры. Для расчетов цветовых искажений была разработана компьютерная программа, моделирующая процесс передачи и воспроизведения цвета в ТВ «от света до света» [4].

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

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

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  $B$  ТВ-приемника.

Очевидно, что спектр воспроизведенной цветности на экране ТВ-приемника «опорного белого» (в нашем случае это цветность источника D6500) не будет равен спектру стандартного источника, который освещает ТВ-камеру. В этом случае эти два излучения (передаваемый источник и его изображение на экране) являются метамерами и воспринимаются глазом как источники одинаковой цветности [4]. Для определения цветности, воспроизводимой на экране ТВ-приемника, в программе были использованы следующие выражения [5]:

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

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

Из (3) легко определяются координаты цветности изображения на экране ТВ-приемника:

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}; \quad y = \frac{Y}{X + Y + Z}. \quad (4)$$

Из (3)-(4) видно, что цвет (а значит, и цветность, воспроизводимая на экране ТВ-приемника) зависит от координат вершин основных цветов экрана. Поскольку в настоящее время существуют несколько типов устройств, на основе которых изготавливаются ТВ-экраны, с помощью разработанной программы были рассчитаны ожидаемые цветовые искажения в системе «от света до света» при идеальной ТВ-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 ТВ-приемников. На рис. 2 для примера приведены результаты расчетов цветовых искажений, при воспроизведении на экране стандарта ЕС.

Поясним рис. 2: точки с числами от 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 ТВ-приемника.

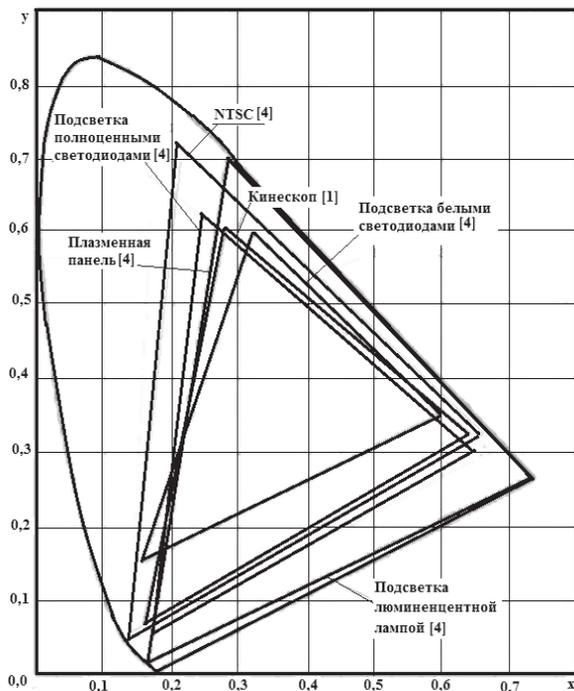


Рис. 1. Цветовой охват NTSC, кинескопа, плазменной панели и ЖК

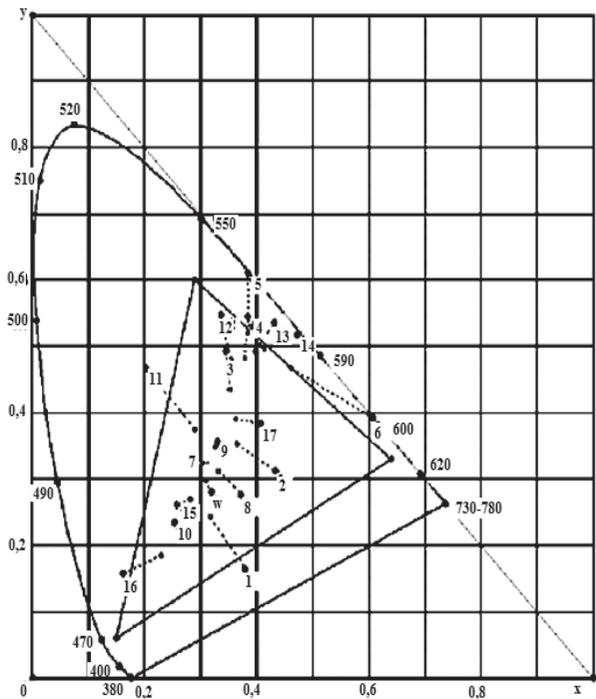


Рис. 2. Искажения цветопередачи системы ЦТВ при приеме на экран, имеющий прибор с использованием люминофоров (кинескоп)

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 расчеты в выходную таблицу результаты даются в двух системах координат.

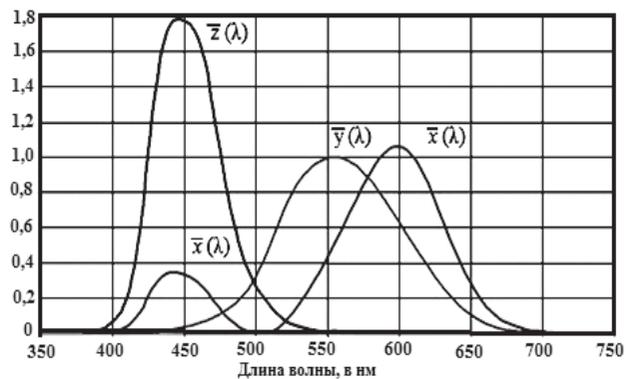


Рис. 3. Кривые сложения цветов в системе XYZ МКО при источнике Е. Яркостные коэффициенты  $L_x: L_y: L_z = 0: 1: 0$  [1]

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

- а) спектральные характеристики чувствительности каналов  $R, G$  и  $B$  ТВ-камеры совпадают с кривыми сложения колориметрической системы

МКО 1931 г. ( $x, y, z$ ), изображенных на рис. 3. На практике такие ТВ-камеры (будем называть их идеальными) не применяются ввиду сложности получения двугорбой кривой спектральной характеристики чувствительности;

б) спектральные характеристики чувствительности каналов  $R, G$  и  $B$  ТВ-камеры совпадают с кривыми сложения колориметрической системы МКО 1931 г. ( $x, y, z$ ), причем для зеленого канала кривая совпадает с кривой  $\bar{y}(\lambda)$ , для синего –  $\bar{z}(\lambda)$ , а кривая красного канала  $R$  совпадает с кривой, предложенной Д.А. Шкловером, которая является одnogорбой и определяется согласно [6]:

$$\bar{x}_{ш}(\lambda) = 0,833 \cdot \bar{x}(\lambda) + 0,333 \cdot \bar{y}(\lambda) - 0,167 \cdot \bar{z}(\lambda).$$

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

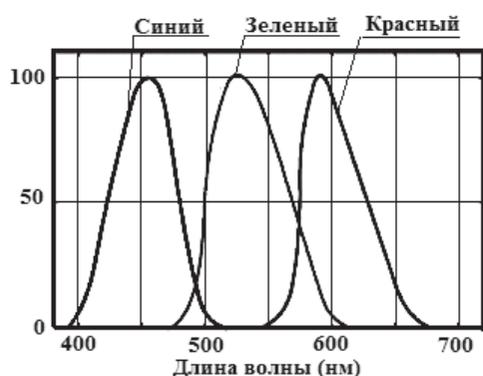


Рис. 4. Спектральная характеристика чувствительности «реальной» ТВ-камеры [2]

Итак, нами показано, что координаты воспроизводимой цветности на экране ТВ-приемника зависят 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 – эта цветность «опорного» белого.

### Колориметрически точное цветовоспроизведение в ТВ

Профессор Н.Д. Ньюберг в 1948 г. предложил использовать три понятия точности воспроизведения цвета [8]. Роберт Хант дал академическое определение возможных уровней цветовоспроизведения [9]:

- спектральное цветовоспроизведение;
- колориметрическое цветовоспроизведение;
- точное цветовоспроизведение;
- эквивалентное цветовоспроизведение;
- согласованное цветовоспроизведение;

- выделенное цветовоспроизведение.

Из шести определений, сформулированных Р. Хантом, остановимся на втором, а именно «Колориметрическое цветовоспроизведение».

Колориметрическое цветовоспроизведение (colorimetric color reproduction) определяется метамерным 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 ТВ трехцветная камера формирует три видеосигнала, которые некоторым образом кодируются и передаются на ТВ-приемник. Но, по сути, сама ТВ-камера является прибором для измерения цвета (колориметром) параллельного действия. Поэтому можно считать видеосигналы видеокamеры пропорциональными координатам цвета. Тогда необходимые значения видеосигнала можно определить из матричного уравнения (3), а именно:

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

Из (5) следует, что для воспроизведения цвета с координатами  $X, Y, Z$  необходимы видеосигналы  $U_R, U_G$  и  $U_B$ , 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 ТВ-приемника, будет иметь место отрицательное значение величин видеосигнала, и, чтобы избежать этого, необходимо приравнять отрицательные значению нулю.

На рис. 5 показаны цветовые искажения при использовании идеальной цветной трехцветной камеры, а в ТВ-приемнике в качестве экрана применен тот же кинескоп стандарта ЕС. Обозначения на рис. 5 те же, что и на рис. 2. Как видно из рис. 2, цветности, находящиеся внутри цветового треугольника основных цветов экрана ТВ-приемника, оригинала изображения совпадают с воспроизводимым изображением на экране ТВ-

приемника. Остальные координаты воспроизводимых цветов (за пределами треугольника цветового охвата) находятся на наиболее кратчайшем расстоянии от стороны треугольника основных цветов экрана ТВ-приемника.

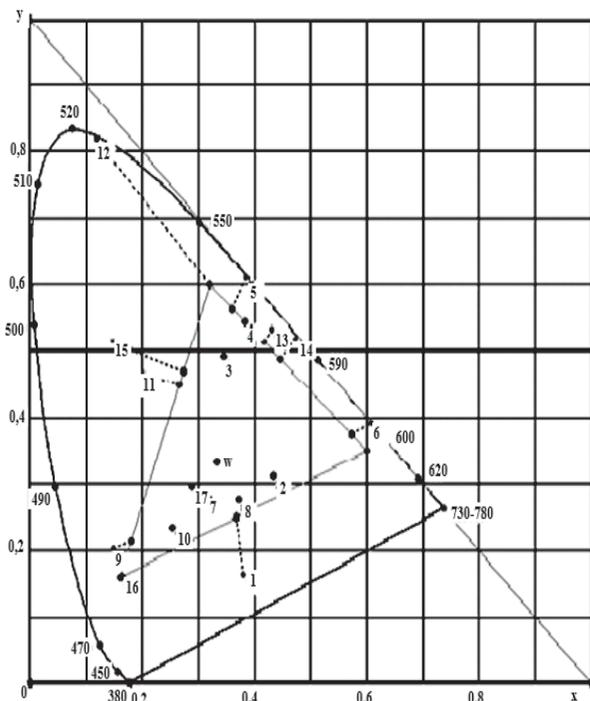


Рис. 5. Цветовые искажения в ТВ-системе, полученные путем передачи сигналов цвета и воспроизведенные на экране, имеющей прибор с люминофорами (кинескоп стандарт ЕС)

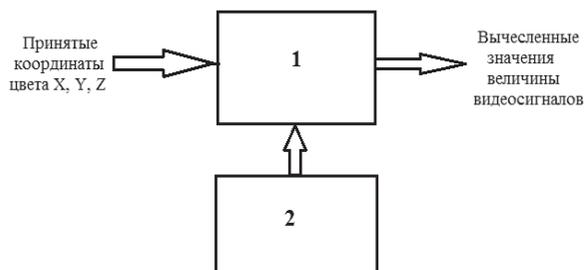


Рис. 6. Добавляемый узел в ТВ-приемнике

На рис. 6 показана добавляемая схема: принятый сигнал с ТВ-центра 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 ТВ-приемника, а еще лучше однажды измеренные координаты цветности основных цветов для конкретного ТВ-экрана и расчета коэффициентов обратной матрицы. В вычислительном устройстве происходит вычисления 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 двугорбой кривой спектральной чувствительности затруднена, и на практике гораздо легче реализовать одностороннюю кривую спектральной характеристики чувствительности, например с кривой, предложенной Д. А. Шкловером, 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 ТВ-камеру именно таким прибором) производится с точностью  $\pm(0,01 \dots 0,05)$ , что составляет в пределах от 1,75 до 8,7 порогов Мак Адама.

Необходимо также учесть, что согласно [7] допустимые отклонения координат цветности основных цветов составляют  $\pm 0,01$ , что также приводит к дополнительным цветовым искажениям порядка двух порогов Мак Адама.

## Заключение

Показано, что практически можно значительно уменьшить цветовые искажения в ТВ, при этом упрощается схема камерного канала телецентра, но повышаются требования к спектральным характеристикам чувствительности самой трехцветной ТВ-камеры.

Также должны быть повышены требования на уменьшение разброса координат цветности однотипных ТВ-экранов при их массовом изготовлении либо их измерении с точностью рекомендованных ГОСТом. При этом незначительно усложняется схема самого ТВ-приемника.

## Литература

1. Новаковский С.В. Цвет в цветном телевидении. М.: Радио и связь. 1986. – 288 с.
2. Новаковский С. В. Техника цветного телевидения. М.: Связь, М.: 1976. – 494 с.
3. Lozhkin L.D. Color-discrimination thresholds and differential geometry // Journal of Optical Technology. Vol. 79, Iss. 2. Feb. 1, 2012. – P. 75-79.
4. Ложкин Л.Д. Свид. об отрасл. рег. разработ. № ОФАП 11710. Заявл. 10.11.2008; зарег. 14.11.2008 / [http://ofap.ru/rto\\_files/11710.doc](http://ofap.ru/rto_files/11710.doc) от 30.10.2008.

5. Ложкин, Л.Д. Дифференциальная колориметрия. Самара: Изд-во ПГУТИ, 2010. – 320 с.
6. Шкловер Д.А., Иоффе Р.С. Универсальный фотоэлектрический колориметр // Известия АН СССР. №5, 1951. – С. 667-681.
7. ГОСТ 19432 – 76. Телевидение цветное. Основные параметры системы цветного телевидения. М., Госстандарт, 1976. – 3 с.
8. Нюберг Н.Д. Теоретические основы цветовой репродукции. М.: Сов.наука, 1948. – 288 с.
9. Хант Р.И.Г. Цветовоспроизведение. Пер. с англ. Санкт-Петербург, 2009. – 888 с.
10. Измайлов Ч.А. Сферическая модель цветоразличения. М.: МГУ, 1980. – 171 с.

## COLORDISTORTION IN TELEVISION AND METHODS OF REDUCTION

Lozhkin L.D., Kononenko A.V., Voronov A.A.

**Shows the sources of color distortions in the body-color vision, and that the chromaticity coordinates, which are located inside the triangle color gamut screen television may play colorimetrically exactly, ie without color distortion. We propose a method for implementing a television system with a colorimetric ion accurately reproduced color images.**

*Keywords:* color locus, ICE, television camera, the chromaticity coordinates.

Ложкин Леонид Дидимович, д.т.н., доцент Кафедры основ конструирования и технологии радиотехнических систем (ОКиТ РТС) Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). Тел. 8-937-984-77-12. E-mail: leon.lozhkin@yandex.ru

Кононенко Андрей Владимирович, зам. начальника отдела РКЦ «Прогресс» (г. Самара). Тел. 8-908-411-46-30. E-mail: o1309@yandex.ru

Вороной Андрей Андреевич, к.ф.м.н., доцент Кафедры ОКиТ РТС ПГУТИ. Тел. 8-903-303-85-69. E-mail: andrew555\_2000@front.ru

УДК 621.391.84

## ЦИФРОВЫЕ РЕЗОНАТОРЫ С КОМПЛЕКСНЫМИ МАСШТАБНЫМИ КОЭФФИЦИЕНТАМИ

Иванова В.Г.

Рассмотрены свойства и алгоритмы реализации расстроенной пары и одиночных цифровых резонаторов с комплексными масштабными коэффициентами. Разработана методика их синтеза исходя из требуемых значений резонансной частоты, полосы пропускания и резонансного коэффициента передачи.

**Ключевые слова:** цифровой резонатор, комплексный масштабный коэффициент, АЧХ, ФЧХ, синтез.

### Введение

Цифровые резонаторы применяются для выделения несущих и пилот-сигналов и как составная часть более сложных цифровых фильтров, например фильтров на основе частотной выборки [1].

Резонаторы с постоянным масштабным коэффициентом на входе рассмотрены в [1-4]. Их недостатком является изменение резонансного коэффициента передачи при перестройке по диапазону и ненулевой фазовый сдвиг на резонансных частотах, отличных от четверти частоты дискретизации, который изменяется при изменении резонансной частоты резонатора.

В [4] рассмотрена расстроенная пара цифровых резонаторов, которая обеспечивает более высокую селективность по сравнению с одиночным резонатором, но обладает теми же недостатками.

Поэтому возникли задачи:

- определение такого масштабного коэффициента на входе резонатора и расстроенной пары резонаторов, при котором резонансный коэффициент передачи остается постоянным при изменении резонансной частоты, а вносимый фазовый сдвиг равен нулю;

- синтез резонатора и расстроенной пары резонаторов исходя из требований к резонансной частоте, полосе пропускания, резонансному коэффициенту передачи и форме АЧХ.

### Цифровой резонатор

На рис. 1 приведена схема цифрового резонатора, комплексный коэффициент передачи которого равен

$$\dot{K}(f_N) = \frac{M}{1 + A_1 \cdot e^{-j2\pi f_N} + A_2 \cdot e^{-j4\pi f_N}}, \quad (1)$$