

Цзяньчжонг Цзяо (Jianzhong Jiao) | jianzhong.jiao@osram-os.com |
Перевод: Владимир Рентюк

ANSI работает над усовершенствованием стандарта определения цветовых характеристик твердотельных источников света

В статье описываются новые тенденции в индустрии средств освещения, такие как разработка светодиодов с цветовой температурой ниже 2700 К. Поднимаются проблемы, связанные с увеличением спроса на системы освещения с более высокой однородностью цвета, что требует постоянного внесения уточнений и улучшений в стандарты цветности ANSI для твердотельных источников света (SSL).



Организация ANSI (Американский национальный институт стандартов) снова работает над обновлением спецификации стандарта C78.377 на твердотельные источники света в части их характеристик цветности. По мере того как происходило развитие технологии изготовления светодиодов, а разработчики твердотельных источников света расширяли доступный диапазон производимой ими продукции, возникала и необходимость расширить комплекс стандартов для задания некоторых параметров, направленных на то, чтобы спецификаторы и разработчики могли обеспечить более качественные продукты этого класса. Так, последняя редакция стандарта C78.377 будет включать в себя источники света с коррелированной цветовой температурой ниже установленного ранее потолка в 2700 К — CCT (Correlated Color Temperature, CCT — относительная цветовая температура, иногда обозначается как T_C). Это связано с тем, что от разработчиков потребовалось создавать для некоторых специальных приложений системы с более теплым оттенком освещения, а также из-за необходимости обеспечить более высокую требуемую однородность цвета по всем направлениям излучения.

Работа над стандартом C78.377 была начата еще в 2006 г., а в 2008 г. ANSI опубликовал уже его первую рабочую версию. Подобно спецификации характеристик цветности для линейных люминесцентных и компактных люминесцентных ламп, целевым назначением этого стандарта было установление тесной взаимосвязи между производителями и пользователями, то есть однозначного понимания ими такой важной категории, как цвет белого света, который используется в целях освещения помещений. Стандартом были также установлены предельно допустимые нормы на отклонения цвета реальных источников света от установленного стандартом значения.

Светодиоды против флуоресцентных линейных ламп

Основным отличием светодиодного освещения от иных источников света всегда было то, что такие источники света, используемые как часть лампы или светильника, являются или дискретной корпусированной светодиодной матрицей, или набором отдельных корпусированных

Д-р Цзяньчжонг Цзяо — директор отдела стандартов и новых технологий компании OSRAM Opto Semiconductors, Inc. Он является международно признанным экспертом в области освещения и принимает активное участие в разработке стандартов в области светодиодных технологий и твердотельных источников света. Бывший председатель SAE Lighting Committee, NGLIA, NEMA SSL Technical Committee, действительный член IESNA Testing Procedure Committee, Roadway Lighting Committee и Computer Committee, ANSI SSL Working Groups, нормативно-технической группы экспертов по UL8750, а также комитетов по стандартизации IEEE, CIE США, SEMI, JEDEC и ряда других организаций.

светодиодных кристаллов (обычно без дополнительных линз). Причем многие конечные продукты часто сочетают и используют совместно такие источники света в своей общей системе освещения. При разработке стандартов цветности для твердотельных источников света основное внимание экспертов индустрии освещения было сосредоточено на следующих вопросах. Во-первых, как должны быть указаны параметры цветности для готовой продукции? Во-вторых, какие уровни допусков на отклонение цвета должны быть специфицированы? Важной задачей было также достижение оптимального баланса между требованиями потребителей и уровнем затрат производителей светодиодов.

Как известно, при изменении содержания люминофора или компаунда корпусированные светодиоды могут производить практически любой оттенок белого. Но, тем не менее, в процессе изготовления отдельные светодиоды получают с различными вариациями основного цвета, т. е. с его некоторым распределением по координатам цветности или по плоскостям излучения.

Хроматичность (цветовой состав излучения) светодиодов принципиально отличается от линейных флуоресцентных ламп. Для флуоресцентных ламп целевая цветовая точка (точка с определенными координатами цветности на равноконтрастном цветовом графике МКО-31 (рис. 1)) выбирается, а ее вариации, то есть отклонения в некоторых пределах заданного цвета, вписываются в круговую или эллиптическую диаграмму вокруг этой цветовой точки. В то время, когда были разработаны флуоресцентные лампы, эти целевые цветовые точки не специфицировались, и они не были непосредственно связаны с потребительскими предпочтениями, поскольку выбирались самими производителями на основе имеющихся

в их распоряжении технологий и ограничивались приемлемыми собственными затратами на производство. Таким образом, различиями в подходах к вопросам цветности между светодиодами и линейными флуоресцентными лампами является следующее:

- цветовые точки для светодиодов могут быть выбраны достаточно гибко;
- цветовые вариации светодиодов могут быть непрерывными с распределением между выбранными цветовыми точками.

Гибкая точка белого

Гибкость в установке цветовой точки — это одно из важнейших преимуществ

систем светодиодного освещения. В идеале если промышленность сможет наконец-то определить предпочтительные для потребителей цветовые точки белого, то комитеты по стандартам смогут ввести эти точки в спецификации уже в качестве целевых. К сожалению, предпочтение цвета — это сугубо субъективный вопрос, и он очень связан с личными предпочтениями, культурными традициями и целым рядом других человеческих факторов. В настоящее время, основываясь на результатах исследований влияния человеческого фактора на восприятие белого света, до сих пор так и не выработано единого мнения о границах области белого цвета (рис. 1).

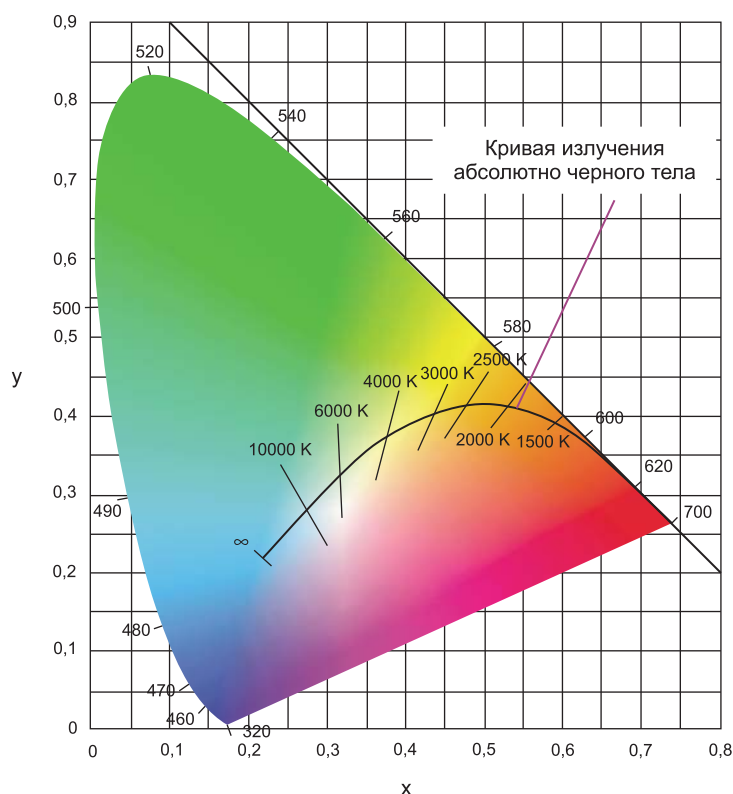


Рис. 1. Кривая координат цветности излучения абсолютно черного тела, определяющая диапазон цветных температур от теплого красноватого 1500 К до холодного голубоватого 10 000 К

Эксперты ANSI в части освещения договорились, что в нижнем диапазоне относительных цветовых температур большинство людей предпочитают цветные точки белого, которые расположены в центре или близко к линии абсолютно черного тела. В более высоком диапазоне относительных цветовых температур предпочтение отдавали белому цвету, приближенному к излучению стандартного источника света типа D65 (усредненный дневной свет на открытом пространстве), то есть стандартизованному дневному свету с приблизительной цветовой температурой 6500 К. Эта серия испытаний была направлена на то, чтобы попытаться воссоздать стандартные условия освещения под открытым небом в разных частях мира.

На основе этой договоренности вполне логично было принято, что соединения центральных цветных точек должны проходить в виде некоей изогнутой линии, соединяющей на линиях цветностей излучения абсолютно черного тела точку с цветовой температурой 2700 К и точку, соответствующую дневному солнечному свету с температурой в 6500 К. Пока не будут получены достаточные доказательства какого-либо всеобщего предпочтения спектра белого цвета, подход, принятый ANSI для определения кривой белого, будет оставаться наиболее логичным выбором. Последние исследования, опубликованные Центром исследований освещения (Lighting Research Center, LRC) Политехнического

института Ренсселера и Национального института стандартов и технологии, из-за получения весьма разнообразных конечных результатов не оказали влияния на такое определение.

После того как была определена кривая белого, ANSI нужно было выбрать целевые точки для относительных цветовых температур. Для люминесцентных технологий, как уже упоминалось ранее, целевые относительные цветовые температуры так и не были выбраны с точки зрения предпочтений потребителей, они были приняты просто по факту «как есть», исходя из существующих технологий и ограничения общих затрат на изготовление таких источников света. В настоящих же условиях вполне логично использовать присущую светодиодам цветовую гибкость и определить-таки номинальные относительные коррелированные цветовые температуры.

Номинальные относительные коррелированные цветовые температуры по ANSI

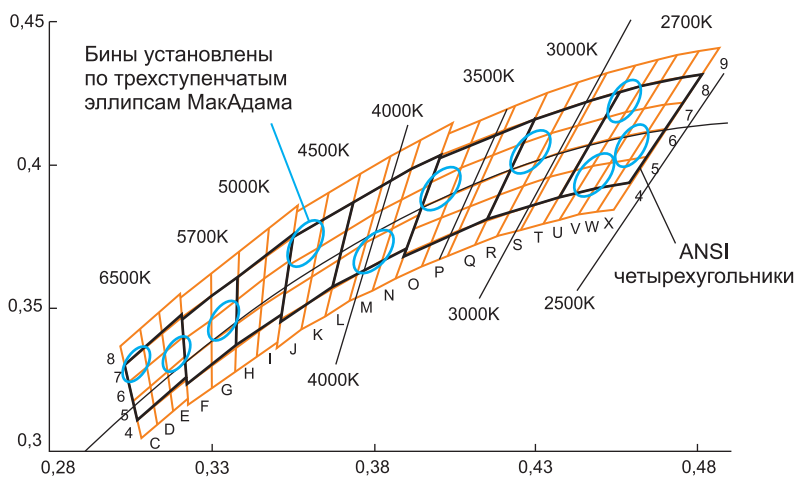
При данном диапазоне коррелированных цветовых температур, используемых для целей внутреннего освещения, а именно в диапазоне 2700–6500 К, ANSI указал два типа номинальных цветовых температур — фиксированный и гибкий. Белое цветовое пространство между температурами 2700 и 6500 К было разделено на восемь областей, для каждой из которых был установлен соответствующий допуск по коррелированной цветовой

температуре. Центральные точки этих восьми цветовых областей являются фиксированными номинальными относительными цветовыми температурами. Кроме того, если производитель или заказчик выбирает конкретный цвет центральной точки (ее температуру), то, кроме этих основных номинальных точек цветовых температур, ANSI указал еще и гибкие относительные цветовые температуры с изменением путем приращения значений фиксированных температур на 100 К в белом цветовом диапазоне. Такой подход обеспечивает два важных преимущества:

- предоставляет производителям и пользователям больше гибкости в выборе цветовых температур;
- позволяет производителям светодиодов использовать более широкие распределения в части цвета единичных светодиодных кристаллов или сборок, не принося в жертву общий объем выхода годной продукции.

Еще один элемент спецификации в части цветности — это предел восприимчивости к изменению цвета. Как известно, человеческий глаз весьма чувствителен к вариации цвета. Согласно статистике, стандартное отклонение определенной цветовой точки описывается эллипсами ошибок МакАдама (для порогов цветоразличения на равноконтрастном цветовом графике) в виде некоторых условных «ступеней» (рис. 2). Если бы использовалась большая выборка населения (что не было сделано), то тренированный наблюдатель мог бы достоверно повторить его или ее наблюдения (что они не могут сделать), и ступени могли бы быть уже переведенными для населения в целом. Это могло бы быть выполнено с высокой вероятностью, так как три такие ступени равны трем стандартным отклонениям, или вероятности в определении цвета, равной 99,44%.

Индустрия средств освещения в целом принимает и практикует подход к использованию эллипсов МакАдама, чтобы оценить цветовые вариации. Полагается, что потребители уже могут заметить разницу в цвете на уровне четырех и более ступеней. Основываясь на изменении цвета допусков флуоресцентных ламп, в ANSI решили использовать те же семиступенчатые эллипсы МакАдама, как допустимые пределы, и применительно к твердотельным излучателям света.



Источник: компания Osram

Рис. 2. Хроматическая диаграмма, используемая компанией OSRAM для точного биннинга белого, с отклонениями коррелированной цветовой температуры на базе квадратов, построенных на трехступенчатых эллипсах МакАдама

С семиступенчатыми эллипсами МакАдама и вариациями коррелированной цветовой температуры стандарт ANSI дает новый, но более практичный тип определения допустимых отклонений в части цветности, а именно — четырехугольники. Для каждого номинального значения коррелированной цветовой температуры, как фиксированной, так и гибкой, имеет место ассоциированный с ней четырехугольник для задания допуска изменения цвета.

В результате стандарт для твердотельных источников света имеет непрерывное белое цветовое пространство, а не дискретные эллипсы, как это имеет место для линейных флуоресцентных ламп. Такой подход обеспечивает гораздо более высокую гибкость как для производителей светодиодного освещения, так и для пользователей, он имеет логически определенную кривую белого, представленную как центры цветных точек, и она имеет семиступенчатые эллипсы МакАдама в виде эквивалентных им четырехугольников для задания допусков по передаче цвета.

Доработка стандарта по цветности

По результатам трехлетней работы ANSI решил сделать улучшения для настоящего стандарта в части определений цветности и опубликовал его новую версию ANSI_ANSLG C78.377-2011. Версия 2011 г. обеспечивает более точные назначения центральных цветных точек путем добавления к ним дополнительного десятичного разряда. Таким образом, границы цвета (верхний и нижний пределы) стали представлять собой непрерывные плавные кривые линии без зигзагообразных границ (рис. 2). Это помогает поставщикам светодиодов поставлять свою продукцию с более точной разбивкой по цветности, так называемому биннингу. Обновленная версия содержит также подробные описания, необходимые для расчетов значений цветности между угловыми точками каждого четырехугольника.

В 2013 г. ANSI снова сформировал специальную группу для обновления стандартов. На повестку дня для пересмотра были выдвинуты две инициативы. Первая

была направлена на то, чтобы расширить диапазон коррелированных цветных температур, опустив его ниже принятого на настоящий момент нижнего уровня коррелированной цветовой температуры 2700 К. Это вызвано тем, что, как известно, светодиодные лампы или светильники могут обеспечивать уровни цветовой температуры ниже, чем значение в 2700 К. Следовательно, имеется и возникает насущная необходимость для четкого распознавания этих низких цветных температур твердотельных источников света, и ANSI хочет сделать так, чтобы добиться их стандартизации. Она вызвана необходимостью устранения разногласий в восприятии таких значений цветных температур между производителями и пользователями. С этой целью специальная группа предложила добавить к уже имеющимся семиступенчатым эллипсам МакАдама два дополнительных эквивалентных четырехугольника с центрами на уровне температур в 2500 и 2200 К. Вторая инициатива исходила уже от спецификаторов, таких как Энергетическая комиссия Калифорнии (California Energy Commission, CEC). Она направлена на то, чтобы иметь меньшие отклонения (вариации) цвета в попытке улучшить качество светодиодной продукции, используемой для целей освещения.

Как уже говорилось выше, цветовые предпочтения являются сугубо субъективным делом и основаны на персональном выборе предпочтительных значений цветовой температуры, как точек вдоль линии Джадда (Judd line)¹ для данного значения коррелированной цветовой температуры, расположенных выше или ниже линии черного тела (например, уровня Duv). С другой стороны, насыщенность цвета — это уже скорее некая объективная материя. Так, изменения, превышающие четыре ступени изменения эллипса МакАдама, могут быть заметными для большинства людей.

Задача состоит в определении того, как цветные точки в пространстве цветов белого должны быть использованы в точных, жестко зафиксированных точках центров задания отклонений. Для простоты, специальная группа рекомендует

использовать имеющиеся номинальные текущие установленные точки коррелированной цветовой температуры, чтобы добавить к ним описанное выше четырехступенчатое отклонение. Этот подход охватывает как фиксированные, так и гибкие коррелированные цветные температуры.

В рамках существующей семиступенчатой системы четырехугольников четырехступенчатые четырехугольники задаются с помощью одной и той же центральной точки. Здесь не существует международного стандарта для расчетов эллипсов МакАдама, который бы создал сложности в написании программного кода для оборудования измерения цвета. ANSI решил придерживаться подхода, опубликованного CIE в документе TN 001 (Chromaticity Difference Specification for Light Sources). Вместо того чтобы использовать эллипсы, в C78.377 приводится четырехступенчатое описание для CIE кругов на $u'v'$ -плоскости. Для удобства в стандартах также приведены необходимые расчеты для перекодировки отображения четырехступенчатых кругов из плоских кругов $u'v'$ в эллипсы на xu -плоскости.

Для международной гармонизации стандартов новая версия стандарта ANSI содержит перечень сравнения номинальных коррелированных цветных температур с допусками (в виде четырехугольников) и трех-, пяти- и семиступенчатых эллипсов МакАдама для светодиодных ламп в МЭК. Читатели найдут и могут убедиться в том, что стандарты ANSI хорошо согласованы с МЭК. Исходя из принципа постоянного улучшения, стандарт цветности ANSI для твердотельных источников света создал предпосылки для быстрой адаптации светодиодной продукции под нужды времени. Новизна, гибкость, точность, последовательность и практичность нашли свое отражение в разработке и обновлении спецификации стандарта C78.377. ANSI будет и дальше продолжать улучшать стандарт. В частности, будет проведено дополнительное изучение относительно предпочтений белого, а также будет развиваться спецификация, где точки белого цвета должны быть расширены вниз или вверх от линии цветности абсолютно черного тела. ●

¹ Кривая относительной спектральной чувствительности глаза недооценивает воспринимаемую интенсивность света с длинами волн, лежащими на синем краю спектра видимого света. Коррекция Джадда подстраивает кривую чувствительности глаза для более точного представления нормальной чувствительности человеческого глаза, особенно в области синего цвета. Коррекция Джадда не вносит больших изменений в стандартную кривую относительной спектральной чувствительности глаза при сравнении традиционных источников света друг с другом. Но такая коррекция может иметь большой эффект при измерении светового потока, излучаемого светодиодными источниками света, и при сравнении их с традиционными источниками света.