

Янчон Яо (Jianzhong Jiao)

Светодиодные автомобильные световые приборы

как предмет для специализированных стандартов SAE

В статье дается обзор широкого круга стандартов на светодиодные светотехнические изделия, предназначенные для применения в автомобилестроении. Эта отрасль предъявляет особые требования к долговременной стабильности светового потока, надежности, долговечности и спектральному составу света.

Разработка технологии полупроводниковых структур на основе AlInGaP (фосфида алюминия-галлия-индия) в начале 1990-х гг. позволила повысить КПД и надежность желтых и красных светодиодов. Примерно в то же время активно расширялось применение светодиодов в осветительной аппаратуре различного назначения. Одной из первых таких областей применения стали внешние световые приборы автомобиля. Поначалу это были дополнительные центральные стоп-сигналы. В конце 1980-х гг. Международный светотехнический комитет Общества инженеров-автомобилестроителей США (SAE) приступил к разработке стандартов на светодиодные светотехнические изделия для автомобилей. Эта работа продолжается и по сей день. Большинство внешних световых приборов автомобиля считаются средствами безопасности и в качестве таковых регулируются (в США) федеральными стандартами или стандартами уровня штата. В связи с природой требований безопасности внедрение светодиодов потребовало

комплексного рассмотрения нескольких различных аспектов, которые оказались в центре внимания при разработке Светотехническим комитетом SAE стандартов на светодиодные светотехнические изделия. Эти стандарты делятся на две категории: стандарты уровня компонента (сборки) и стандарты системного уровня, в которых рассматривается световой прибор в целом — например, сигнальный огонь или фара. В случае применения светодиодных источников света стандарты системного уровня регулируют только методы испытаний и характеристики световых приборов, не предъявляя других требований к источникам света.

Светосигнальные приборы автомобиля

Первым из принятых стандартов на светодиодные автомобильные светотехнические изделия был SAE J1889 — общий стандарт на светосигнальные приборы, включая стоп-сигналы, габаритные огни, указатели поворота

и дневные ходовые огни. За прошедшие годы этот стандарт несколько раз пересматривался.

Одним из ключевых моментов в стандарте SAE J1889 было описание различий в методиках испытаний светодиодных и накаливаемых светосигнальных приборов. Эти различия обусловлены тем, что светодиодные лампы содержат электронные компоненты, а лампы накаливания — нет. Светодиоды представляют собой температурно-зависимые источники света: их световой поток снижается с ростом температуры $p-n$ -перехода. Эту особенность необходимо учитывать в требованиях к испытаниям, чтобы фотометрические характеристики установленного в автомобиле светового прибора соответствовали предъявляемым требованиям. Фотометрические испытания проводятся в установившемся тепловом режиме светового прибора.

Кроме того, у большинства автомобильных световых приборов регулируются как минимальные, так и максимальные уровни фотометрических параметров (значения силы света под разными углами). У комбинированных световых приборов также регулируется отношение значений силы света при выполнении ими разных функций. Например, сила света в режиме стоп-сигнала и в режиме габаритного огня должна заметно различаться для человеческого глаза. Требования к отношению значений силы света для разных функций сформулированы в различных нормативных документах SAE. Кроме того, в стандарте SAE J1889 уделено внимание таким вопросам, как начальная сила света, стабилизированная сила света, минимальные и максимальные параметры светового прибора.

Стандарты на автомобильные фары

В начале 2000-х гг., когда прогресс в технологии белых светодиодов сделал возможным создание светодиодных автомобильных фар, Светотехнический комитет SAE разработал и принял еще один стандарт, относящийся к светодиодной светотехнике, — SAE J2650. Этот стандарт регулирует характеристики светодиодных автомобильных фар, в том числе противотуманных.



Рис. 1. Фары Audi Matrix — пример матричного светодиодного автомобильного светового прибора, который создает управляемые пучки света для улучшения видимости

Испытания на предмет отношения максимальных и минимальных уровней фотометрических параметров и температурной стабильности аналогичны тем, которые описаны в стандарте SAE J1889, но к автомобильным фарам предъявляется два дополнительных требования. Первое из них — это требование к содержанию красной составляющей в спектре излучения, обусловленное необходимостью эффективно визуализировать красный цвет на предметах дорожной обстановки, включая препятствия, пешеходов и дорожные знаки, особенно красный знак «СТОП» (рис. 1).

Спектр излучения фар должен содержать достаточное количество красного цвета, чтобы водители могли надежно распознавать эти знаки в свете фар. Поэтому стандартом SAE J2650 предписывается определенное процентное содержание красной составляющей в общем спектральном распределении мощности видимого излучения.

Второе требование предъявляется к долговременной стабильности светового потока. Обычно светотехнические стандарты SAE не содержат требований к сроку службы изделий, но в этом случае разработчики стандарта исходили из того, что светодиоды являются долговечными источниками света. Так как световой поток светодиода со временем снижается, было введено требование, чтобы измеренный световой поток светодиодных фар на протяжении номинального срока службы не опускался ниже минимально рекомендуемого уровня в 80% от начального светового потока.

Долговременная стабильность светового потока

В 2007 г. Светотехнический комитет SAE приступил к разработке стандартов на испытания для определения долговременной стабильности светового потока светодиодов. После проведения многолетней работы стандарт SAE J2938 был опубликован в 2012 г. В большинстве случаев светодиоды в автомобильных световых приборах работают при максимально допустимой температуре $p-n$ -перехода или вблизи от нее.

Следовательно, рабочий ток светодиода обычно рассчитывается в окрестности максимальной температуры $p-n$ -перехода. Вследствие разброса режимов и условий эксплуатации автомобиля этот стандарт призван обеспечить соответствие светодиодных световых приборов минимальным требованиям к фотометрическим характеристикам в наихудших условиях. Так, для автомобильных световых приборов температура корпуса светодиода определяется в условиях, когда температура $p-n$ -перехода равна максимальной или находится в пределах 10° от нее. Хотя в реальности светодиоды могут эксплуатироваться в режимах, предполагающих более низкие температуры $p-n$ -перехода (что повышает долговременную стабильность светового потока), все же стандарт SAE J2938 рекомендует проводить испытания по наихудшему сценарию.

Производители световых приборов и комплектного оборудования для автомобилей установили планку ожиданий, в соответствии с которой светодиоды должны служить столько же, сколько

и сам автомобиль. Быть может, отдельные автопроизводители и измеряли наработку световых приборов на протяжении срока службы автомобиля для определенных моделей, но отрасль в целом не располагает надежной и всеобъемлющей базой данных для установления такого стандарта долговечности. В 2008 г. Институт транспортных исследований Мичиганского университета (UMTRI) опубликовал два отчета с усредненными сводными данными о фактической частоте использования светового оборудования на пассажирском транспорте США.

Срок службы автомобильных световых приборов

В отчетах UMTRI приведены исходные данные и теоретическое обоснование для рекомендованной в стандарте SAE J2938 длительности испытаний. На пассажирском автомобильном транспорте США наибольшее время наработки за весь срок службы транспортного средства — чуть менее 2000 ч — зафиксировано для габаритного огня. У дневных ходовых огней время наработки примерно в три раза дольше. Поэтому рекомендуемая минимальная длительность испытаний на долговременную стабильность светового потока светодиодов в стандарте SAE J2938 составляет 2000 ч. Для дневных ходовых огней или световых приборов, рассчитанных на жесткие условия эксплуатации, можно устанавливать большую длительность испытаний. Если требуется прогноз долговременной стабильности светового потока на более длительный срок, рекомендуется применять стандарт IES TM-21. В 2007 г. началась также работа по стандартизации сменных светодиодных источников света. В большинстве современных автомобильных световых приборов используются сменные источники света (лампы). Когда светодиоды обрели достаточную яркость для применения во внешних световых приборах, одним из подходов стало встраивание отдельных светодиодов в сменный цоколь, чтобы светодиодную лампу (сменный источник света) можно было использовать в нескольких модельных рядах автомобилей или в качестве запчасти (рис. 2). Это позволяет создать целую гамму источников света, которыми затем смогут пользоваться все производители



Рис. 2. Светодиоды Osram Ostar Headlamp Pro предназначены для применения в адаптивных системах фар (AFS) с индивидуально управляемыми светоизлучателями

световых приборов — в условиях открытого рынка с разнообразием поставщиков.

Миниатюрные сменные источники света (лампы) традиционно регулируются стандартом SAE J573. В отличие от традиционных ламп интегрированные светодиодные лампы могут обеспечить дополнительные преимущества при создании световых приборов, содержащих световоды и рефлекторную оптику, имеющих малую толщину и другие конструктивные особенности оптической системы. Исходя из этого Светотехнический комитет SAE разработал спецификации на оптические, механические и другие характеристики ламп данного типа для их стандартизации.

Теперь стандартом SAE J573 среди прочего устанавливаются характеристики сменных светодиодных источников света для светосигнальных приборов. С учетом дальнейшей глобализации рынка автомобильной светотехники технические характеристики сменных светодиодных источников света, приведенные в стандарте SAE J573, гармонизированы с положениями Правила ЕЭК ООН №128 (<http://bit.ly/UcyqAn>)¹.

Испытания на долговечность

Светотехнический комитет SAE разработал новейший документ по тематике светодиодной светотехники — стандарт SAE J3014, регулирующий ускоренные испытания на долговечность (highly accelerated failure testing, HAFT) светодиодных ламп. Эти испытания, фигурирующие также в англоязычной литературе под названиями ALT (accelerated life testing) и HALT (highly accelerated life testing), уже давно практикуются в промышленных масштабах как в автомобильной светотехнике, так и в сфере общего освещения. Цель ускоренных испытаний на долговечность — выявить механизмы отказов, позволяющие обнаружить конструктивные недостатки светотехнического изделия или определить оптимальный номинальный срок его службы.

В светодиодной светотехнике одной только долговременной стабильности светового потока может быть недостаточно для итоговой оценки надежности. Необходимо также выявить другие механизмы отказов, способные снизить качество или надежность светодиодного светового прибора. Среди всего разнообразия влияющих факторов, обусловленных режимами и условиями эксплуатации автомобиля, комитет выделил три основных стресс-фактора, которые могут использоваться для стимулирования ранних отказов светодиодных световых приборов: температура, вибрация и входное напряжение. Эти испытания проводятся для того, чтобы выявить эксплуатационные и физические ограничения изделия в условиях экстремальных температурных, электрических и вибрационных воздействий (рис. 3).

В результате изменения температуры при ускоренных испытаниях на долговечность возникают быстрые неуправляемые колебания

¹ Стандарты на светодиодные автомобильные светотехнические изделия могут послужить ценными отправными точками для разработки стандартов на светодиодные изделия для общего освещения

влажности, играющие роль стресс-фактора для исследуемых световых приборов. Вместе с тем влажность не рассматривается в качестве независимого стресс-фактора, поскольку она является функцией температуры, и конденсация происходит естественным образом при снижении температуры. Для регулирования влажности необходимы воздухообмен и кондиционирование. Регулирование влажности при изменениях температуры — медленный процесс, сильно нагружающий испытательное оборудование, а если температура изменяется очень быстро, то влажность вообще не поддается регулированию. Стандарт SAE J3014 рекомендует анализировать результаты испытаний для выявления вариаций и определения факторов, которые могут нарушить штатную работу изделия. Однако результаты этих испытаний не могут и не должны служить основой для прогнозирования срока службы изделия.

Надежный метод прогнозирования долговременной надежности светодиодов и светотехнических изделий на их основе мог бы пригодиться во всех областях применения. Над разработкой такого метода в настоящее время продолжают трудиться несколько групп отраслевых специалистов. Стандарты на методы испытаний и характеристики уже давно учитываются при проектировании различных светодиодных изделий. Ранее для квалификационных испытаний светодиодных компонентов применялись существующие стандарты на дискретные полупроводниковые компоненты, такие как AEC Q101. Последние инициативы МЭК в области специализи-



Рис. 3. Компания Osram разработала органические светодиоды, выдерживающие жесткие условия эксплуатации в автомобиле. Пример их использования — изображенный на снимке габаритный огонь

рованных квалификационных испытаний светодиодных компонентов посвящены рассмотрению этой технологии и воплощены в стандарте IEC 60810. Будучи первыми в своем роде, стандарты на светодиодные автомобильные светотехнические изделия могут послужить ценными отправными точками для разработки стандартов на светодиодные изделия для общего освещения. В следующем выпуске предметом нашего внимания станут международные автомобильные стандарты. Им будет посвящена очередная статья этой серии, озаглавленная «Новые международные стандарты квалификационных испытаний автомобильных светодиодных изделий». ●

Оригинал статьи опубликован на <http://ledsmagazine.com>