

Давид Кокс (David Cox) | Дон Хирш (Don Hirsh) | Майкл МакКлинтик (Michael McClintic)

# Эффективность светодиодов: используете ли вы все люмены, за которые заплатили?

В процессе эволюции микропроцессоров всегда находилось место для использования более крупного, быстрого или более мощного. Исторически с каждым новым поколением микропроцессоров бытовая электроника получала вперемешку то более сложные, то уменьшенные, то более быстрые решения, а зачастую и измененные по всем трем параметрам. Эффективность светодиодов увеличивается так же быстро, как раньше эволюционировали микропроцессоры, но разработчики решений на основе светодиодов не всегда пользуются преимуществами новых возможностей. Использование не всех возможностей светодиодов в результате приводит к получению изделий с не оптимальными параметрами.

Прогресс в отрасли мощных осветительных светодиодов должен заставить светотехническую промышленность изменить методы оптимизации проектов с целью снижения стоимости решений, основанных на применении светодиодов. У основных производителей светодиодов, включая компанию Cree, накопился достаточно большой объем информации, касающейся изменения эксплуатационных параметров светодиодов по времени и под влиянием температур. Данные о поведении светодиодов при длительном режиме работы теперь стандартизованы в своде LM-80 и стандарте для оценки и прогнозирования срока службы TM-21. Таким образом, становится понятно, что в качественных и надлежащим образом спроектированных системах светодиоды могут работать при большом токе и высоких температурах с меньшей деградацией рабочих характеристик, чем ранее. Эти данные подвергают сомнению первоначальную методологию проектирования, при которой светодиоды используются на номинальном токе. Разработчиками не рассматривается широкий диапазон рабочих токов и температур, хотя использование светодиодов на большем токе может обеспечить получение большего количества люменов с одного светодиода и, соответственно, снизить стоимость системы.

Ранее, когда технология мощных корпусированных светодиодов была относительно молодой, консерватизм в проектировании был оправдан. Теперь мы знаем, что для эко-

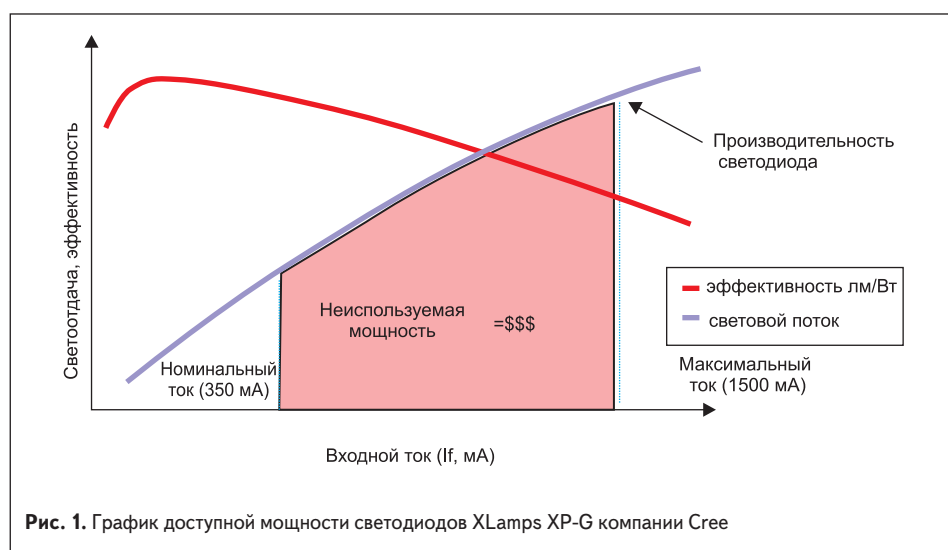


Рис. 1. График доступной мощности светодиодов XLamps XP-G компании Cree

Таблица 1. Прогнозирование по TM-21 для XLamps XP-G компании Cree

Ток, mA	T <sub>a</sub> /T <sub>sp</sub> <sup>*</sup> , °C	Продолжительность испытания, ч	α	β	Расчетный L70 <sup>2</sup> , ч	Отчетный L70 <sup>2</sup> , ч
1000	+55	10 080	-4,219×10 <sup>-6</sup>	9,847×10 <sup>-1</sup>	-	L70 (10k) > 60 500
1000	+85	10 080	1,284×10 <sup>-6</sup>	1,016	290 000	L70 (10k) > 60 500
1000	+105	6 048	5,561×10 <sup>-6</sup>	1,007	65 500	L70 (6k) > 36 300

Примечание: \* — T<sub>a</sub>/T<sub>sp</sub> — температура окружающей среды/температура в точке спайки

номически эффективных проектных решений целесообразно и приемлемо более смелое проектирование. У светодиодов осветительного класса, которые поддерживают стабильность хроматических параметров и светового потока, существует большое количество неиспользуемых люменов, которыми могут воспользоваться разумные проектировщики систем. Мы можем показать эту неиспользуемую мощность (при постоянной рабочей температуре) на рис. 1. При номинальном токе светодиод использует менее 25% своей разрешенной мощности. Оставшиеся 75% куплены, оплачены, но не используются.

Светодиодные системы зачастую разрабатывались на токах, близких к номинальным. Это, одновременно, и распространенная в отрасли «привычка», и консервативный инженерный

подход к надежности системы. Новые данные показывают, что вполне возможны гораздо более высокие токи и температуры без ущерба долговременной надежности. Снижение стоимости системы — выигрыш от такого нового подхода.

Свод данных LM-80, использованный для создания стандарта TM-21 по оценке светодиодов, — надежный и стандартизованный метод, который позволяет делать прогнозы для любого данного светодиода в составе системы<sup>1</sup>. В качестве примера возьмем данные по 1000 mA из LM-80 и оценки по TM-21, разработанные для светодиода XLamps XP-G компании Cree (табл. 1).

Рабочая температура +55 °C — это реальная рабочая температура для внутреннего осветительного устройства; отчетный результат L70,

<sup>1</sup> Стандарт IES TM-21-2011 «Оценка длительности стабильности светового потока светодиодных источников освещения» (www.ies.org) рекомендует метод прогнозирования стабильности светового потока светодиода, основанный на данных LM-80-08. Рекомендация предусматривает: 1) экстраполирование данных LM-80 для оценки срока службы L<sub>xx</sub>, где xx может быть 70, 80, 90 и т. д.; 2) интерполирование рабочей температуры срока службы из подходящего комплекта данных; 3) выводы по расчетной (экстраполированной) и отчетной (по данным 6X LM-80) продолжительности срока службы.  
<sup>2</sup> Эти данные по бинам яркости действительны на лето 2011 г.

основанный на данных за 10 080 ч, составляет 60 500 ч. Поскольку во время испытаний не наблюдалось деградации световых параметров светодиода, значение L70 не может использоваться. При +85 °C результат L70<sub>отчетный</sub> — также 60 500 ч, а результат L70<sub>расчетный</sub> составляет 290 000 ч. Ток 1000 мА представляет собой 67% от максимального рабочего тока 1500 мА светодиода XP-G. Аналогично, при 67% максимального тока табличные данные для светодиодов XM-L показывают отчетный результат L70 в 36 300 ч, а расчетные оценки от 2,3 млн часов (при +45 °C) до 160 000 ч (при +85 °C) (табл. 2).

Ясно, что нет необходимости использовать светодиоды XLamps XP-G и XM-L на токе 350 мА или при низкой температуре окружающей среды для обеспечения длительного срока службы системы.

Разработка светодиодного светильника — это всегда серия компромиссов между потребляемой мощностью и рабочей температурой. Сами по себе светодиоды демонстрируют квазилинейные характеристики некоторого числа своих рабочих параметров. Для светодиодов, работающих на больших токах, спад световой отдачи, фактор температурной зависимости, отношение значений светового потока светодиода или осветительного прибора при температурах перехода +100 и +25 °C и др. при проектировании не учитываются, ибо не очень актуальны.

Самые яркие холодно-белые светодиодные компоненты на одном кристалле компании Cree, оцененные при помощи программы-калькулятора

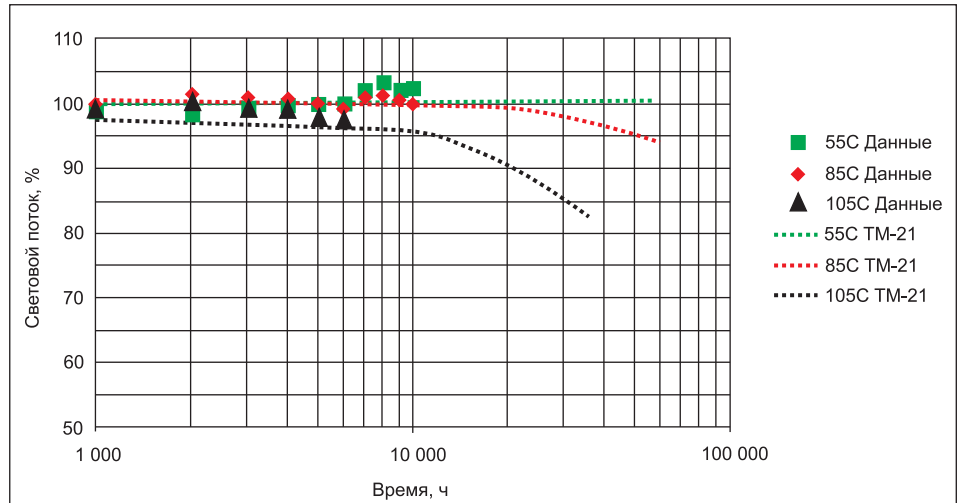


Рис. 2. Графическое представление отчетного прогноза L70 при 1000 мА для XLamps XP-G

Таблица 2. TM-21 Прогнозирование для XLamps XM-L компании Cree

Ток, мА	T <sub>д</sub> /T <sub>сп</sub> , °C	Продолжительность испытания, ч	$\alpha$	$\beta$	Расчетный L70 <sup>3</sup> , ч	Отчетный L70 <sup>4</sup> , ч
2000	45	6048	1,459×10 <sup>-7</sup>	9,847×10 <sup>-1</sup>	2 340 000	L70 (6k) > 36 300
2000	55	6048	9,543×10 <sup>-7</sup>	9,887×10 <sup>-1</sup>	362 000	L70 (6k) > 36 300
2000	85	6048	2,155×10 <sup>-6</sup>	9,834×10 <sup>-1</sup>	158 000	L70 (6k) > 36 300

светодиодов (Product Characterization Tool, <http://pct.cree.com>), показывают нам, что при «приемлемой» температуре светодиода в +55 °C и повышенных токах<sup>4</sup> может быть обеспечен

КПД компонентов, значительно превышающий 100 лм/Вт (рис. 3).

Даже при использовании более теплых люминофоров самые яркие теплые белые

Current (A)	LED 1				LED 2				LED 3			
	LED lm	LED lm/W	LED Vf	LED W	LED lm	LED lm/W	LED Vf	LED W	LED lm	LED lm/W	LED Vf	LED W
0.350	137.6	134.9	2.91	1.02	138	135.2	2.92	1.02	144.4	153.6	2.68	0.94
0.400	155	131.3	2.94	1.18	156.2	131.3	2.96	1.19	164.4	152.3	2.7	1.08
0.500	188.3	125.5	3.01	1.5	191.6	126.1	3.04	1.52	203.9	148.8	2.74	1.37
0.600	219.6	119.3	3.06	1.84	225.4	121.2	3.1	1.86	242.5	146.1	2.77	1.66
0.700	248.8	114.1	3.11	2.18	257.7	116.1	3.17	2.22	280.2	142.2	2.81	1.97
0.800	276.1	109.6	3.15	2.52	288.4	111.8	3.22	2.58	317.1	139.1	2.84	2.28
0.900	301.4	105.4	3.18	2.86	317.5	107.6	3.28	2.95	353.1	136.3	2.88	2.59
1.000	324.7	101.5	3.2	3.2	345.1	103.9	3.32	3.32	388.2	133.4	2.91	2.91
1.100					371.1	100.3	3.36	3.7	422.5	130.4	2.94	3.24
1.200					395.5	96.9	3.4	4.08	456	128.1	2.97	3.56
1.300					418.4	93.8	3.43	4.46	488.6	125.3	3	3.9
1.400					439.7	91	3.45	4.83	520.3	123	3.02	4.23
1.500					459.5	88.2	3.47	5.21	551.2	120.6	3.05	4.57
1.600									581.2	118.1	3.07	4.92
1.700									610.3	116	3.09	5.26
1.800									638.6	113.8	3.11	5.61
1.900									666	111.9	3.13	5.95
2.000									692.6	109.9	3.15	6.3
2.200									743.2	106.2	3.18	7
2.400									790.4	102.6	3.21	7.7
2.600									834.1	99.4	3.23	8.39
2.800									874.4	96.4	3.24	9.07
3.000									911.2	93.6	3.25	9.74

Рис. 3. Данные для холодных белых светодиодов XLamps XP-E HEW, XP-G и XM-L (+55 °C) — высокая эффективность при высоком токе

<sup>3</sup>Расчетные значения L70 даны только в качестве информации и не являются технической характеристикой.  
<sup>4</sup>Эти данные по бинам яркости действительны на лето 2011 г.

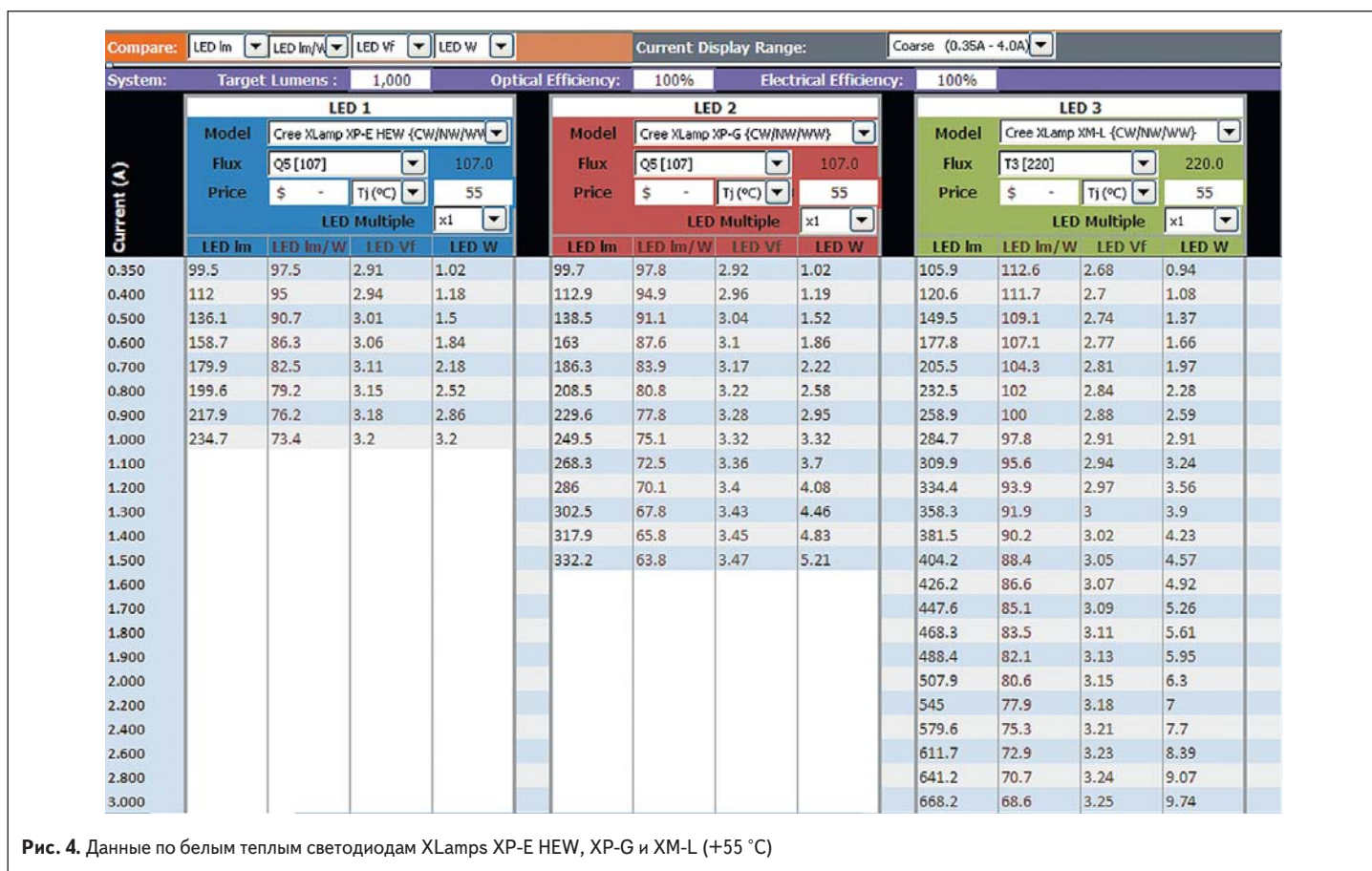


Рис. 4. Данные по белым теплым светодиодам XLamps XP-E HEW, XP-G и XM-L (+55 °C)

светодиодные однокристалльные компоненты компании Cree обеспечивают 75–90 лм/Вт при +55°C и повышенном токе (рис. 4).

Хотя данные такого рода все еще должны интерполироваться из технических спецификаций изделия, производители светодиодных компонентов, которые предоставляют инструменты для анализа системы, предусматривают возможность проведения быстрой оценки базовых характеристик. Когда можно получить данные по долговременности службы и надежности по широкому диапазону рабочих условий, нелинейности на уровне устройства и компонентов перестают быть важными критериями отбора. Они становятся простыми

атрибутами устройства, которые принимаются во внимание на этапе проектирования. Данные по долговечности функциональности при повышенном токе и температуре позволяют оценить пригодность рассматриваемого конкретного светодиодного компонента конкретного производителя.

Графики зависимости светового потока или напряжения от тока, представленные на рис. 5 и 6, не столь информативны для светодиодов с группами световой отдачи в диапазоне 140–160 лм/Вт, как это было для светодиодов со световой отдачей порядка 70 лм/Вт.

Присутствуют нелинейности или нет, светодиоды для освещения имеют гораздо большую

световую мощность, чем используется большинством проектировщиков световых приборов и ламп (рис. 7). Эксплуатация светодиодов при более высоких токах и/или повышенных температурах позволяет получать больше люменов с каждого светодиода, использовать меньшее количество светодиодов и меньше вспомогательных компонентов, что в конечном счете удешевляет систему. Но, конечно же, существуют ограничения практического характера.

XLamps MT-G EasyWhite компании Cree являются многокристалльными светодиодами, оптимизированными для получения высокопроизводительных компактных устройств

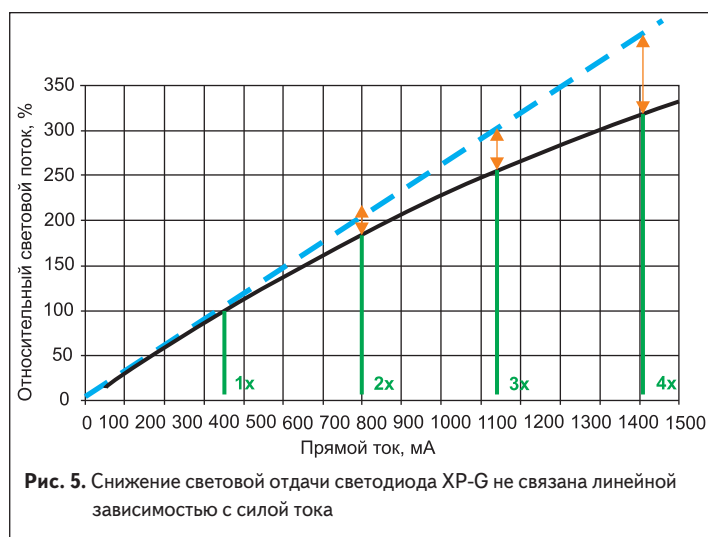


Рис. 5. Снижение световой отдачи светодиода XP-G не связана линейной зависимостью с силой тока

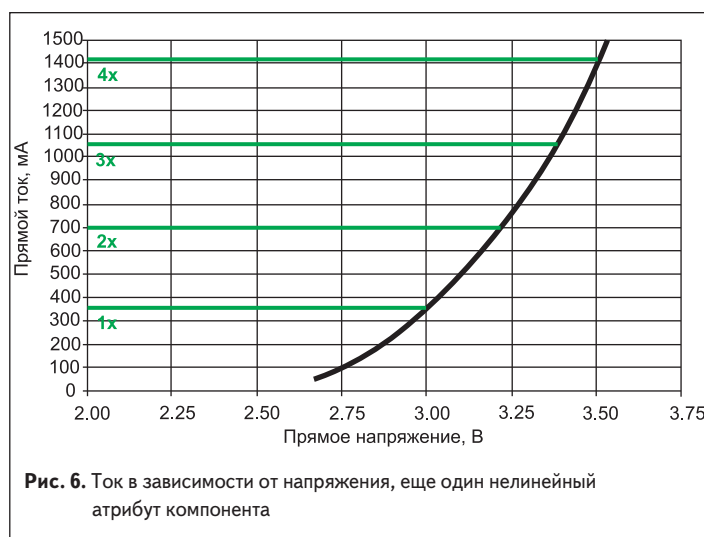


Рис. 6. Ток в зависимости от напряжения, еще один нелинейный атрибут компонента



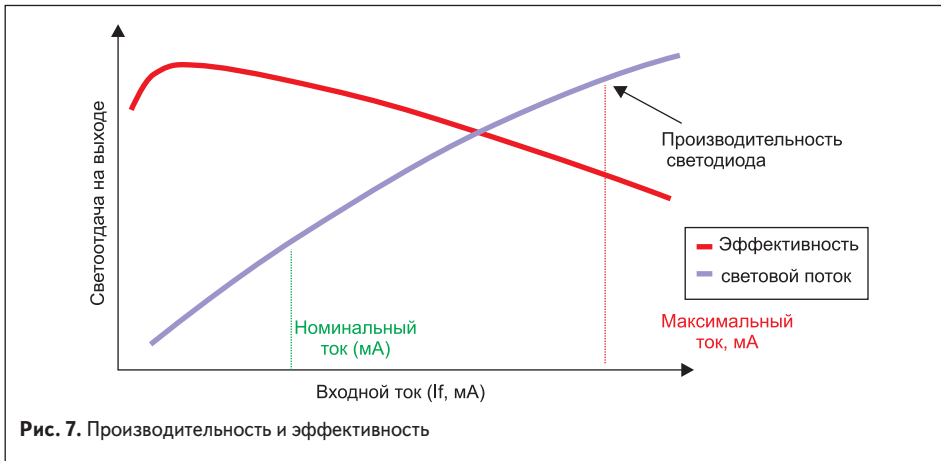


Рис. 7. Производительность и эффективность

прямого освещения. Максимальное значение тока для MT-G составляет 4000 мА, это целых 24 Вт в корпусе 9×9 мм. Но такая компактная лампа, как MR-16, не может рассеять более 20 Вт тепловой нагрузки. Основываясь на опыте создания типового варианта проекта MR-16 компании Cree, мы установили, что радиаторы для источников освещения класса MR могут безопасно рассеять 4–7 Вт мощ-

ности. Геометрия радиатора ограничивает мощность светодиодной системы. Светодиод MT-G при использовании более крупного радиатора, такого как у лампы PAR38, с массой, в несколько раз большей, чем у радиаторов MR-16, может поддерживать гораздо больший ток (рис. 8).

Требования по эффективности светодиодных систем в соответствии с Energy Star (стандарт

эффективности энергопотребления) могут также добавить ряд ограничений на производительность (рис. 9).

Требования L70 по продолжительности срока службы светильника или лампы могут диктовать более низкий рабочий ток. Но в качестве контрапункта здесь выступает другая таблица данных TM-21. На этот раз она показывает расчет увеличенного срока службы для нескольких светодиодов семейства XLamps, что является неотъемлемым свойством всех светодиодов осветительного класса. В технических же характеристиках максимальная рабочая сила тока обычно указывается в 2/3 от реального максимального тока светодиода. Эти данные говорят сами за себя (табл. 3).

Таким образом, мы установили, что светодиоды самого высокого качества могут работать при стабильно повышенных токах и гораздо больших температурах, чем указывают производители в технической документации. В новых конструкциях светильников и ламп должны быть использованы эти преимущества. Более разумное использование возможностей светодиодов осветительного класса не приведет к уменьшению их надежности. Так чего же вы ждете?

Таблица 3. Итоговые данные TM-21 при 67–70% максимального тока управления для различных светодиодов XLamps

Ток, мА	T <sub>a</sub> /T <sub>sp</sub> , °C	Продолжительность испытаний, ч	α	β	Расчетный L70, ч	Отчетный L70, ч
<b>XLamps ML-B (0,25 Вт – часть для распределенной освещенности)</b>						
80	45	6048	-2,844×10 <sup>-7</sup>	9,879×10 <sup>-1</sup>	–	L70 (6к) > 36 300
80	55	6048	-3,819×10 <sup>-7</sup>	9,849×10 <sup>-1</sup>	–	L70 (6к) > 36 300
80	85	6048	2,897×10 <sup>-6</sup>	1,000	123 500	L70 (6к) > 36 300
<b>XLamps XP-E High Efficiency White</b>						
700	45	6048	4,302×10 <sup>-6</sup>	1,204	88 500	L70 (6к) > 36 300
700	55	6048	5,332×10 <sup>-6</sup>	1,011	68 900	L70 (6к) > 36 300
700	85	6048	7,913×10 <sup>-6</sup>	1,015	47 000	L70 (6к) > 36 300
<b>XLamps XP-G</b>						
1000	55	10080	-4,219×10 <sup>-6</sup>	9,847×10 <sup>-1</sup>	–	L70 (10к) > 60 500
1000	85	10080	1,284×10 <sup>-6</sup>	1,016	290 000	L70 (10к) > 60 500
1000	105	6048	5,561×10 <sup>-6</sup>	1,007	65 500	L70 (6к) > 36 300
<b>XLamps XM-L</b>						
2000	45	6048	1,459×10 <sup>-7</sup>	9,847×10 <sup>-1</sup>	2 340 000	L70 (6к) > 36 300
2000	55	6048	9,543×10 <sup>-7</sup>	9,887×10 <sup>-1</sup>	362 000	L70 (6к) > 36 300
2000	85	6048	2,155×10 <sup>-6</sup>	9,834×10 <sup>-1</sup>	158 000	L70 (6к) > 36 300

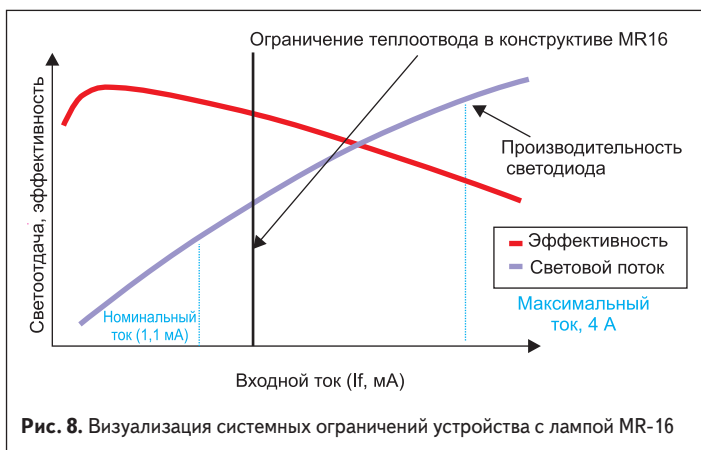


Рис. 8. Визуализация системных ограничений устройства с лампой MR-16

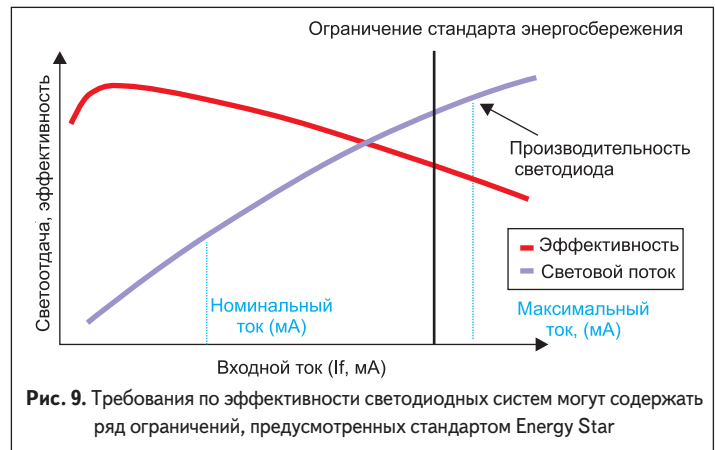


Рис. 9. Требования по эффективности светодиодных систем могут содержать ряд ограничений, предусмотренных стандартом Energy Star