

Андрей Скрипниченко | [aps@e-neon.ru](mailto:aps@e-neon.ru)

# Импульсное питание светодиодов Cree XLamp с повышенным током

**И**нженеров технической поддержки Cree часто спрашивают, можно ли использовать наши светодиоды при импульсном токе, превышающем максимальное значение, указанное в технической документации. Данный вопрос, как правило, интересует в контексте отраслевых требований к продукции, таких как, например, проблесковые огни на транспортных средствах, специальное стробоскопическое освещение и даже импульсная модуляция в освещении при необходимости диммирования (изменения яркости).

Ответ всегда будет начинаться со слов «это зависит...». Разные факторы влияют как на первоначальное поведение, так и на длительную эксплуатацию и надежность светодиода. В них входят устойчивость к температуре, тепловое сопротивление, длительность импульса, а также амплитуда тока, частота и скважность.

Ассортимент светодиодов Cree XLamp достаточно велик и имеет широкий диапазон стандартных токов для различных типов светильников. Например, XLamp XM-L имеют широкий диапазон рабочих токов и высокий максимальный рабочий ток<sup>1</sup>. Мы рассмотрим три типа перегрузки по току:

- одиночный импульс (например, электрическая перегрузка, EOS);
- повторяющиеся импульсы (например, широтно-импульсная модуляция);
- пульсации.

Электрическая перегрузка (ЭП), часто приводящая к полному выходу прибора из строя, может представлять собой электростатический разряд (ESD), бросок тока или другие виды кратковременных скачков тока/напряжения.<sup>2</sup> Разработчики светодиодных драйверов должны принять все необходимые меры предосторожности для защиты светодиодов от ЭП. Второй тип (повторяющиеся импульсы) часто ассоциируется с приложениями, в которых светодиоды работают в проблесковом режиме (машины скорой помощи, стробоскопический свет или сигнальные знаки). Также высокочастотные пульсации (более 120 Гц) часто используются для контроля яркости светодиодов в устройствах с диммерами. И, наконец, пульсации тока — это периодическое, циклическое колебание с полным размахом амплитуды волны постоянного тока, которое может возникать из-за недостаточно отфильтрованного источника переменного тока или импульсного источника электропитания. Если значения электрических параметров укладываются

в рамки спецификации на светодиод, то ни один из перечисленных факторов не является поводом для беспокойства о преждевременной деградации светодиодов или их надежности. Но любой из этих факторов может сократить срок службы светодиода в условиях перегрузки (за пределами параметров, указанных в документации).

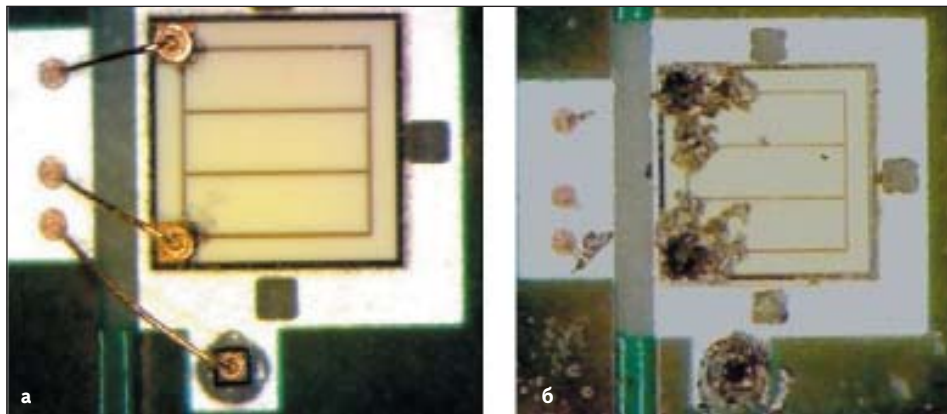
## Случаи перегрузки при одиночном импульсе

Случаи перегрузки при одиночном импульсе часто являются результатом непреднамеренного использования избыточной электроэнергии в одном или нескольких светодиодах, что приводит к полному отказу прибора(ов). Светодиоды XLamp компании Cree способны выдержать короткие электрические импульсы в несколько раз выше максимально допустимого тока в долговременном режиме. Но точная величина амплитуды тока, которую может выдержать определенный светодиод, также является функцией продолжительности и частоты импульса. Существует предел, за которым один импульс приведет к незамедлительному отказу светодиода. В таком случае мы обычно имеем дело со следующими последствиями: короткое замыкание в цепи или обрыв.

Основным фактором, ограничивающим способность светодиода выдерживать электрические перегрузки, является запас по мощности рассеяния кристалла (чипа) светодиода и электропроводимость внутренних соединений. Плотность электрического тока является соотношением силы тока к площади поперечного сечения проводника и измеряется в амперах на квадратный метр (А/м<sup>2</sup>). Обычные проводники обладают определенным сопротивлением, из-за которого

часть проводимой электроэнергии преобразуется в тепло. Ток (и, соответственно, его плотность) должен быть таким, чтобы не произошло расплавление или размягчение проводника или изолятора. Например, при высокой плотности тока материал, формирующий электрическое соединение, может переноситься в близлежащие слои кристалла. Данное явление, известное как электромиграция, возникает, когда кинетическая энергия движущихся электронов передается ближайшим ионам, тем самым смещая их с их первоначальной позиции в решетке. Электромиграция происходит не в самих полупроводниках напрямую, а в металлических соединениях, расположенных на них или в них. Электромиграция со временем может перенести значительное число атомов далеко от их исходной позиции, что тоже ускоряет выход прибора из строя.

Локальное повышение плотности электрического тока, известное как сжатие тока, это неоднородное распределение плотности тока через проводник или полупроводник, особенно вблизи контактов и поверх *p-n*-переходов. Одним из известных факторов, ограничивающих эффективность светодиодов и веществ с низкой подвижностью носителей заряда, таких как нитрид индия и галлия (InGaN), является их повышенная склонность к сжатию тока. Оно может приводить к локальному перегреву и образованию участков перегрева и, как следствие, к тепловому изменению параметров, что также может усилить электромиграционный эффект и образование пустот. Все это приводит к локализованной неравномерно распределенной плотности тока. Повышенное сопротивление вокруг пустоты — это самостоятельный цикл, провоцирующий дальнейший рост температуры, который в свою очередь ускоряет образование пустоты и, как результат, приводит к разрыву цепи.



**Рис. 1.** Два примера металлического перемещения: а) при многократном действии переходных токов; б) при подаче напряжения, в 20 раз превышающего нормальное

<sup>1</sup>К декабрю 2010 г. компания Cree не проводила значимых тестов по использованию светодиодов XM-L.

<sup>2</sup>См. CLD-AP29, Cree XLamp LED Electrical Overstress for a discussion of recommended design practices to avoid EOS damage ([http://www.cree.com/products/pdf/XLamp\\_Elec\\_Overstress.pdf](http://www.cree.com/products/pdf/XLamp_Elec_Overstress.pdf)).

В свою очередь, локальное снижение плотности тока при предполагаемом градиенте его плотности может привести к смещению мигрировавших атомов из области «сжатого» тока. В аналогичном самостоятельном цикле это может повлечь за собой дальнейшее понижение плотности тока и дальнейшее смещение мигрировавших ионов. В результате образуются небольшие выступы, которые ведут к короткому замыканию.

На рис. 1 показаны два примера электромиграции: 1а — прибор, подвергавшийся многократному действию переходных токов (ниже максимальной границы спецификации); 1б — прибор, на который подали прямое напряжение, в 20 раз превышающее нормальное. Как результат — мгновенный выход из строя.

Данных проблем можно избежать с помощью правильно подобранного блока питания, который предохраняет светодиод от влияния тока при переходных процессах.

Другим ограничивающим фактором для прохождения значительного тока является проводимость тоководов (контактных нитей) светодиода. Если плотность тока чрезмерно высока (как при сильной электрической перегрузке), то токовод расплавится, что послужит причиной обрыва цепи. Точное описание физических процессов, происходящих при расплавлении металлического провода или контактного вывода, выходит за пределы данной статьи, но большое значение имеют длина и диаметр проволоки, тип соединения (прессование или плазменная сварка), физические свойства металла, такие как температура плавления, теплопроводность, электрическое удельное сопротивление и т. д. Расплавление токоиода происходит крайне редко и является вторичной (следственной) неисправностью, возникающей только после того, как чип светодиода уже вышел из строя и продолжает подвергаться повышенному току, который в свою очередь ведет к перегреву.

## Периодические импульсы

Второй тип электрической перегрузки — периодические импульсы токов большой величины, которые могут вывести из строя светодиод. Периодические импульсы таких токов также могут укорачивать срок службы светодиода на десятки или сотни тысяч часов в сравнении с номинальным режимом. Причина отказа наиболее вероятно будет заключаться в электромиграции, при которой ионы металла в итоге сместятся с первоначальных позиций в решетке. Другим фактором, который может также привести к сокращению срока службы, является перегрев *p-n*-перехода, при котором световой поток светодиода снизится более чем на 70% от первоначального.

Группа инженеров из Cree провела тестирование четырех типов светодиодов XLamp в широком диапазоне импульсных токов, включая значения, намного превышающие максимально допустимый ток продолжительное время. Данные показывают, что при превышении определенного значения тока происходит снижение эффективности излучения. Таким образом, Cree не рекомендует клиентам использовать светодиоды при повышенном токе. Графики на рис. 2–5 показывают

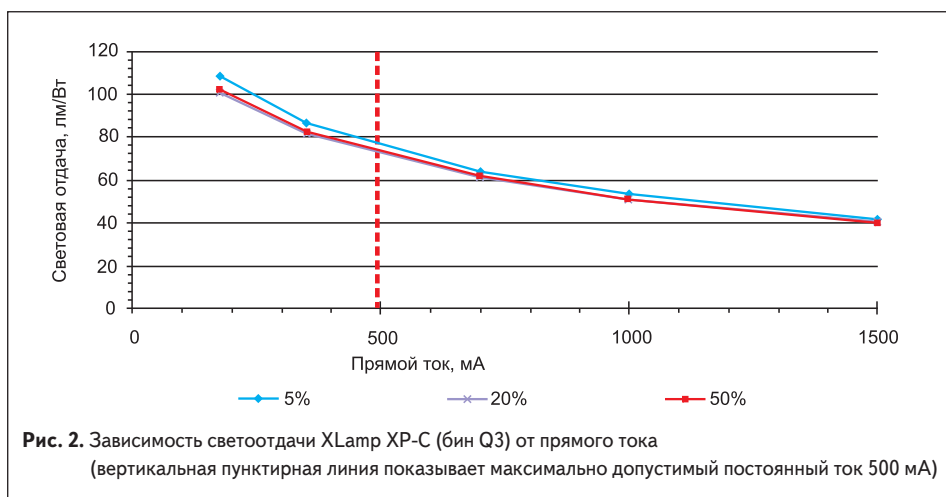


Рис. 2. Зависимость светоотдачи XLamp XP-C (бин Q3) от прямого тока (вертикальная пунктирная линия показывает максимально допустимый постоянный ток 500 mA)

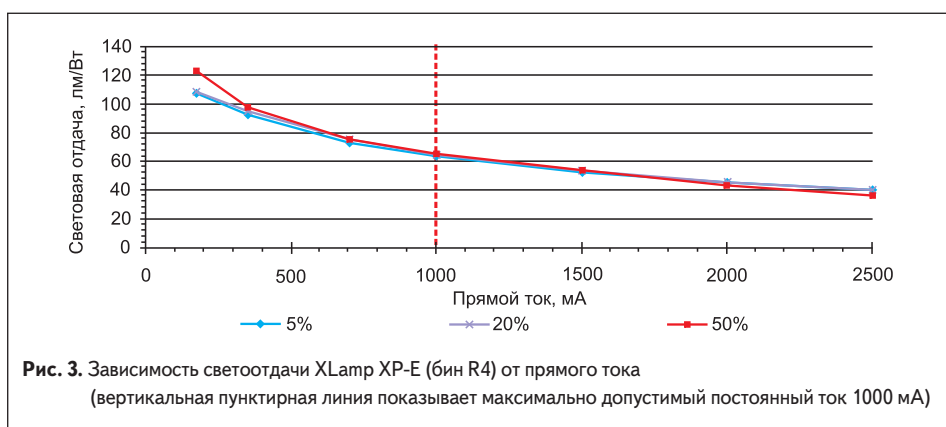


Рис. 3. Зависимость светоотдачи XLamp XP-E (бин R4) от прямого тока (вертикальная пунктирная линия показывает максимально допустимый постоянный ток 1000 mA)

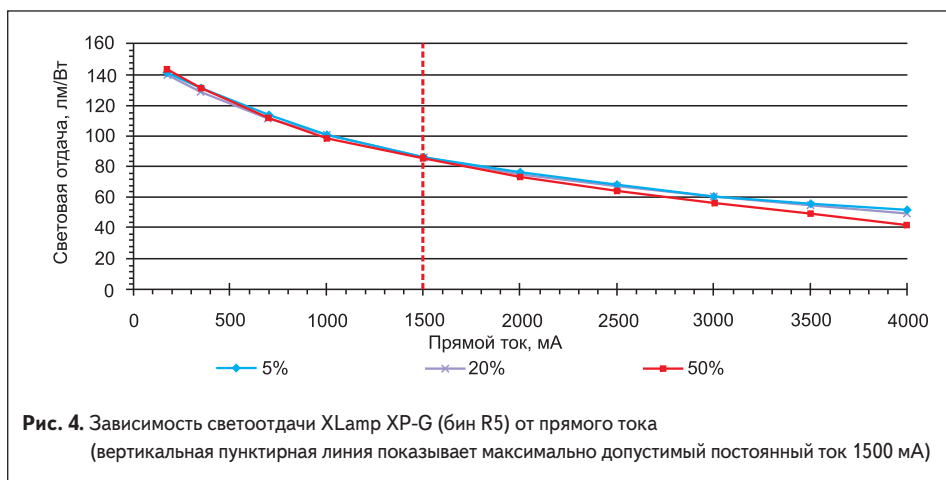


Рис. 4. Зависимость светоотдачи XLamp XP-G (бин R5) от прямого тока (вертикальная пунктирная линия показывает максимально допустимый постоянный ток 1500 mA)

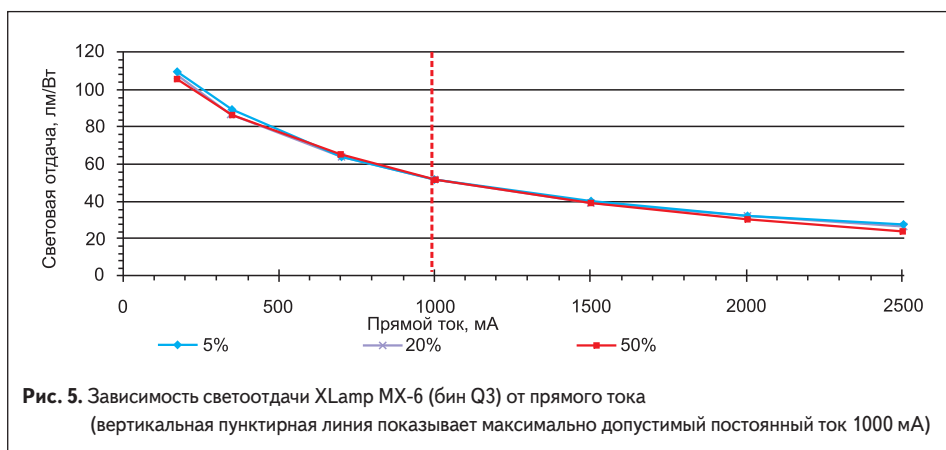


Рис. 5. Зависимость светоотдачи XLamp MX-6 (бин Q3) от прямого тока (вертикальная пунктирная линия показывает максимально допустимый постоянный ток 1000 mA)

**Таблица 1.** Типичный XP-G. Режим питания: коэффициент заполнения 20%, частота импульсов 1 кГц (максимально допустимый постоянный ток при 1500 мА)

Ток в импульсе, мА	Прямое напряжение, В	Мощность за период, Вт	Кратность увеличения тока	Приведенная мощность
175	2,84	0,100	1,0	1,00
350	2,99	0,209	2,0	2,09
700	3,21	0,449	4,0	4,49
1000	3,35	0,671	5,7	6,71
1500	3,56	1,067	8,6	10,67
2000	3,74	1,494	11,4	14,94
2500	3,89	1,944	14,3	19,44
3000	4,04	2,422	17,1	24,22
3500	4,17	2,920	20,0	29,20
4000	4,3	3,442	22,9	34,42

**Таблица 2.** Сдвиг координат цветности при различных видах импульсного тока (1000 мА — максимально допустимый постоянный ток для XP-E)

XP-E, холодный белый, коэффициент заполнения 20%, 1 кГц				XP-E, теплый белый, коэффициент заполнения 20%, 1 кГц			
Ток, мА	x	y	ССТ, К	Ток, мА	x	y	ССТ, К
175	0,308	0,307	7007	175	0,435	0,410	3084
350	0,306	0,301	7303	350	0,433	0,407	3098
700	0,302	0,293	7771	700	0,430	0,404	3122
1000	0,300	0,289	8109	1000	0,428	0,401	3142
1500	0,298	0,284	8542	1500	0,425	0,398	3158
2000	0,296	0,281	8842	2000	0,424	0,396	3171
2500	0,295	0,279	9041	2500	0,422	0,394	3180

отношение между значением электрического тока и световой отдачей, типичное для белых светодиодов XP-C, XP-E, XP-G и MX-6, которые определены при различном коэффициенте заполнения (5, 20 и 50%) с частотой импульсов 1000 Гц<sup>3</sup>. Пунктирная вертикальная линия показывает максимальное значение тока для каждого типа светодиодной продукции XLamp.

Взаимосвязь между светоотдачей и прямым током нелинейная, как и взаимосвязь между прямым напряжением и током. Например, увеличение тока через светодиод в два раза приведет к повышению мощности более чем в два раза. Зависимость приведена в таблице 1 (полученной из данных на рис. 4). Аналогичная по форме, но обратная по направлению нелинейность свойственна и для светоотдачи. Удвоение электрического тока не удваивает светоотдачу, после превышения некоторого значения светоотдача будет снижаться.

Помимо снижения эффективности, могут возникнуть и другие потенциальные проблемы из-за эксплуатации светодиодов при повышенном токе, такие как изменение координат цветности. При росте прямого тока через светодиод координаты цветности x и y начинают сдвигаться к меньшим значениям x и y, что, соответственно, влечет за собой рост коррелированной цветовой температуры. В таблице 2 представлены данные, типичные для холодного белого и теплого белого XP-E.

На рис. 6 и 7 те же данные графически отображены в цветовом пространстве CIE 1931 с усредненными результатами пяти светодиодов XP-E. Продемонстрированы сдвиги коор-

динат цветности при токе не выше максимально допустимого спецификацией (выделен зеленым) и при токе сверх максимально допустимого (выделен красным).

Еще больше сомнений в надежности светодиодов вызывает длительная эксплуатация при повышенных токах. Это происходит из-за нагрева p-n-перехода, особенно при коэффициенте заполнения выше 25%. Чтобы определить, будет ли максимально допустимая температура p-n-перехода (T<sub>j</sub>) превышена, нужно измерить

силу тока (I<sub>f</sub>), напряжение (V<sub>f</sub>) и температуру корпуса (T<sub>c</sub>) светодиода. Для светодиода, работающего в импульсном режиме, мощность будет пропорциональна коэффициенту заполнения (D); следовательно, для расчета T<sub>j</sub> применима следующая формула:

$$T_j = T_c + D \times I_f \times V_f \times R_{thj-c}$$

Однако это только часть расчета. Следует также учитывать температуру и тепловое сопротивление корпуса к окружающей среде. Требуется уделить много внимания отводу тепла.<sup>4</sup>

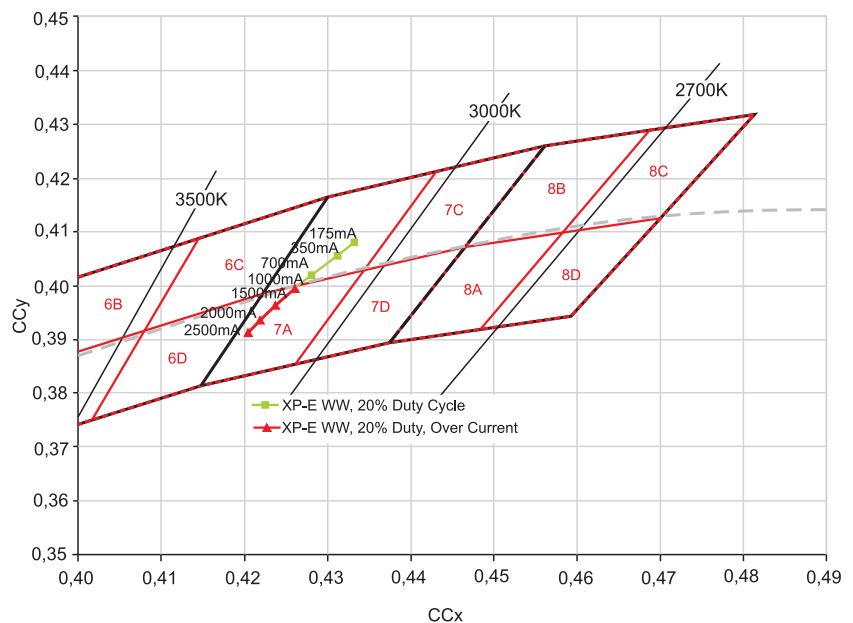
Основываясь на тестировании при импульсе с частотой в 1 кГц, Cree предлагает следующие рекомендации для эксплуатации при импульсном токе:

- для коэффициента заполнения 51–100% — не выше 100% максимального номинального тока;
- для коэффициента заполнения 10–50% — не выше 200% максимального номинального тока;
- для коэффициента заполнения менее 10% — не выше 300% максимального номинального тока.

Кроме снижения светового потока, существуют и другие характеристики, на которые может повлиять продолжительное использование повышенного тока, такие как стабильность цвета, обратный ток и прямое напряжение. Cree рекомендует клиентам проводить собственные долгосрочные испытания, чтобы иметь возможность гарантировать надежность своих разработок.

### Пульсирующий ток

Неотфильтрованный пульсирующий ток с частотой 100 Гц (рис. 8, 9) нередко используется для питания осветительных светодиодных устройств. Когда параметры такого питания



**Рис. 6.** Теплый белый XLamp XP-E, 1 кГц, 20%-ный коэффициент заполнения при различных значениях тока

<sup>3</sup>Информация представлена только для иллюстрации и не предназначена для использования в качестве спецификации. <sup>4</sup>Подробнее см. <http://www.cree.com/products/pdf/XLampThermalManagement.pdf>

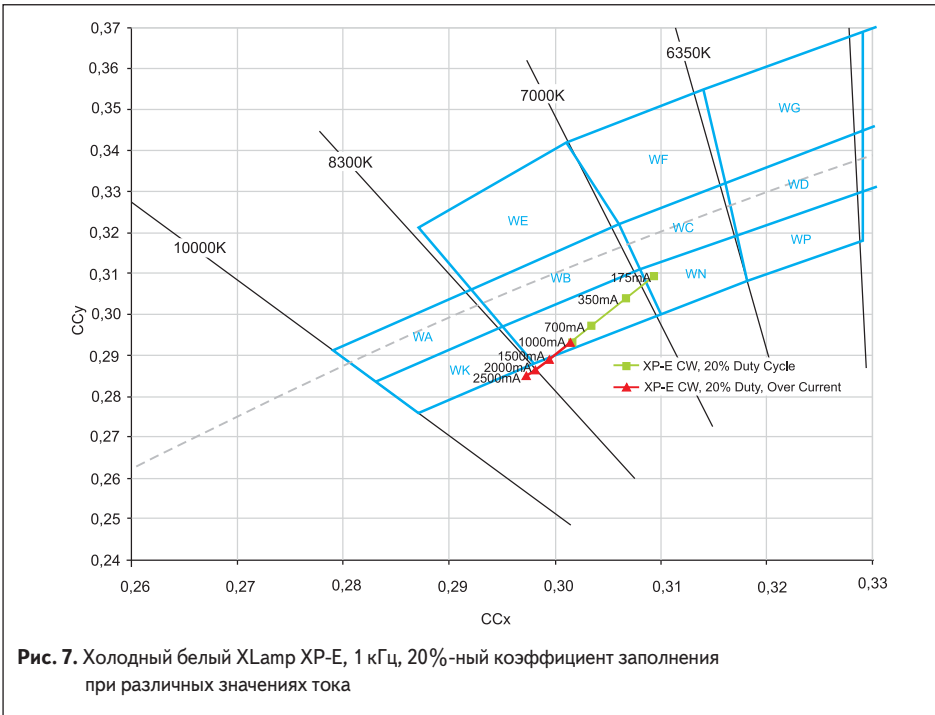


Рис. 7. Холодный белый XLamp XP-E, 1 кГц, 20%-ный коэффициент заполнения при различных значениях тока

вписываются в рамки спецификаций, это не приносит какого-либо вреда светодиодам. Однако при избыточном прерывистом токе в зону риска попадают также электролитические конденсаторы выходного фильтра блока питания светодиодов. Большие пульсации могут привести к перегреву конденсаторов и ускорить ранний отказ драйвера. Существует вероятность, что при выходе из строя конденсаторов переходные токи могут спровоцировать «поломку» светодиода.

### Максимальная частота переключений

Большие колебания амплитуды тока также влияют на светоотдачу светодиода. Например, возьмем образец светодиода XP-E со световым потоком, указанным в таблице 3.

Если светодиод питается постоянным током в 500 мА, он будет производить световой поток 142 лм. С другой стороны, если ток изменяется от 200 мА (минимум) до 800 мА (макси-

мально), то световой поток будет изменяться от 66 до 203 лм. Средний световой поток составит 134,5 лм, что на 5% меньше, чем при постоянном токе.

Максимальная частота переключений при использовании светодиодов в импульсном режиме будет ограничена временем нарастания и спада импульса. Типичное время включения для устройства со светодиодами XLamp не менее 100 нс, что ограничивает максимальную частоту переключений в районе 10 МГц.

### Заключение

Светодиоды Cree XLamp способны выдержать импульсный ток, превышающий максимально допустимый постоянный, однако в статье описаны пределы значений, которые не должны быть превышены во избежание электрической перегрузки. Можно использовать светодиоды в непрерывном и импульсном режиме при повышенном токе, но следует помнить о

Таблица 3. Световой поток XP-E при питании постоянным током

Световой поток, лм	Прямой ток, мА
66	200
142	500
203	800

таких побочных эффектах, как снижение эффективности, сдвиг колориметрических параметров и ухудшение надежности.

Для определенных специализированных устройств существует возможность превышения максимально допустимого тока для достижения желаемого результата. Однако в таких случаях Cree рекомендует клиентам проводить собственное тестирование на выявление какого-либо одного из трех типов электрической перегрузки, описанных выше. К тому же определение целесообразности подобных решений лежит целиком на клиенте. Cree не может давать гарантий относительно надежности или производительности при использовании ее продукции в условиях, лежащих за пределами параметров, указанных в спецификации.<sup>5</sup> Клиенты, у которых есть вопросы или сомнения по поводу их разработок, могут связаться с техподдержкой компании для получения руководства относительно выбора продукта и проектирования системы.

### Литература

1. Harman G. C. Wire bonding in microelectronics: materials, processes, reliability and yield.
2. Prasad S. K. Advanced wire bond interconnection technology.
3. Physical Analysis of Data on Fused-Open Bond Wires // Eugene Loh IEEE Transactions on Components, Hybrids, and Manufacturing Technology. 1983. Vol. CHMT-6, № 2.
4. May J.T. Electrical Overstress in Integrated Circuits.
5. Morkoc H. Handbook of Nitride Semiconductors and Devices, Physics and Technology of GaN-Based Optical and Electronic Devices. Vol. 3.
6. Bulashevich K. A., Evstratov I. Yu., Mymrin V. F., Karpov S. Yu. Current spreading and thermal effects in blue LED dice.

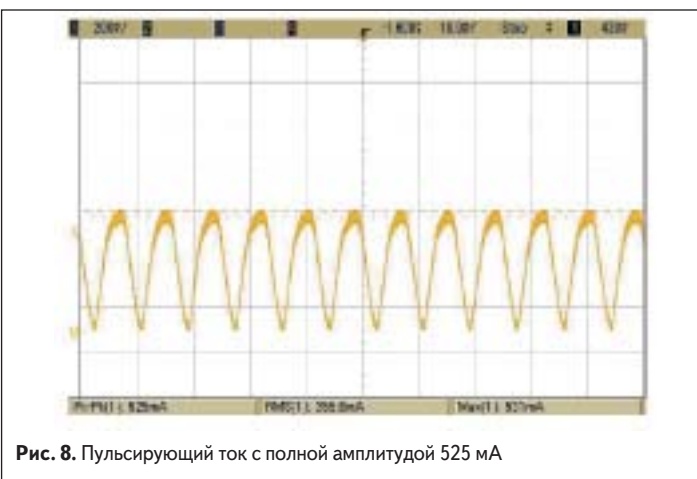


Рис. 8. Пульсирующий ток с полной амплитудой 525 мА

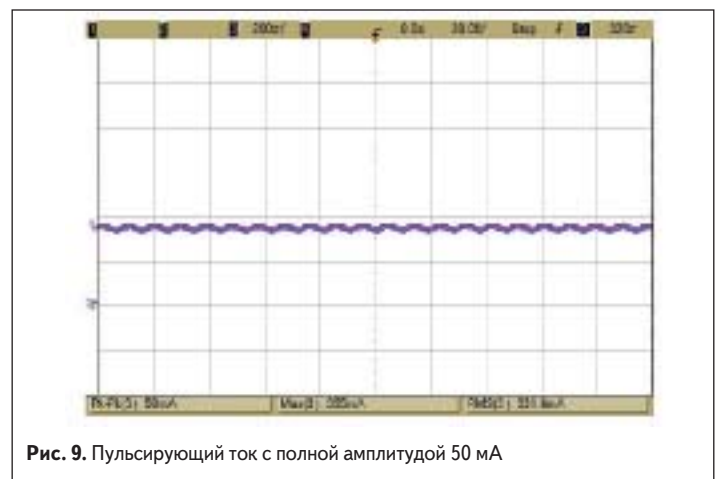


Рис. 9. Пульсирующий ток с полной амплитудой 50 мА

<sup>5</sup>Эксплуатация светодиодов XLamp с нарушением условий, приведенных в спецификациях Cree, лишает гарантии, опубликованной в «Условиях продажи Cree» <http://www.cree.com/ftp/pub/termsandconditionsread.pdf>