

Итан Бири (Ethan Biery)  
Перевод: Василина Рочева

# О проблеме определения пульсации источников света

➔ Производители систем управления освещением стремятся к уменьшению пульсации, улучшению параметров светодиодов, а также обеспечению потребителей удобными и эффективными системами управления светом, но Итан Бири, руководитель отдела разработки компании Lutron Electronics (lutron.com), разъясняет, что светотехническая отрасль все еще находится в поиске метрологических решений, позволяющих должным образом охарактеризовать непостоянство фотометрических характеристик во времени.



Эволюция светодиодов (СИД) на рынке освещения не всегда была гладкой, но к сегодняшнему моменту технология прошла уже долгий путь. По мере развития СИД каждое поколение поднимает планку, побуждая потребителей и изготовителей стремиться к более высокой эффективности и более гибким системам управления [1]. Производители также продолжают решать проблемы потребителей, улучшая качество света, стоимость, срок службы, эффективность и возможности диммирования. Тем не менее, пульсации света все еще остаются тем вопросом, который отрасль должна в полной мере осмыслить и учесть при разработке светодиодных светильников и приборов для управления ими, чтобы обеспечить возможность безопасного и комфортного освещения на основе СИД.

Жалобы на пульсации не новость для светотехнической отрасли. Однако специфические особенности светодиодного освещения создают уникальные проблемы. Самое простое определение пульсации — это «модуляция светового потока». Эта основная концепция, однако, не отражает многие сложные характеристики, которые в конечном итоге делают пульсацию трудно поддающейся количественной оценке. И в то время как пульсации в электрическом освещении, как правило, считаются нежелательными, существуют ситуации (особенно с естественным светом), где они могут добавить освещению своеобразную атмосферу. Это, например, мерцание свечи или отражение солнечного света от поверхности воды. В данной статье мы сосредоточимся на нежелательных аспектах пульсации электрического освещения.

## Определение проблемы

Помимо просто модуляции светового потока, важно выделить следующие виды пульсации:

- Видимая пульсация — модуляция света, периодическая или прерывистая, которую может увидеть большинство людей даже в статических условиях.
- Стробоскопическая пульсация — периодическая модуляция света, обусловленная используемым источником питания, которая ощущается только при движении источника света или наблюдателя.

Следует принять во внимание, что, в то время как жалобы обычно связаны

с видимой пульсацией, эти два вида не взаимоисключающие: стробоскопическая пульсация может быть видимой или невидимой.

Даже при нормальной эксплуатации и в «идеальных» условиях традиционные источники света, такие как лампы накаливания (ЛН), имеют стробоскопическую пульсацию. Напряжение на ЛН, работающей на частоте 60 Гц (в Северной Америке), снижается до нуля 120 раз в секунду — нить накала лампы остывает, уменьшая световой поток. Однако теплоемкость нити накаливания защищает ее от значительного остывания на те 8 мс или около того, пока напряжение не начнет расти снова. Такую пульсацию можно обнаружить при тщательном измерении, но она почти никогда не является источником жалоб потребителей (рис. 1).

Сравните ЛН с люминесцентной лампой (ЛЛ), подключенной через электромагнитный балласт. В этом случае лампа гаснет и загорается 120 раз в секунду. ЛЛ не имеют теплоемкости, которая могла бы поддерживать свечение в течение какого-то времени, поэтому их свет гаснет примерно через миллисекунду (гораздо быстрее, чем у ламп накаливания). Пульсация у люминесцентных ламп с электромагнитным балластом заметна и может заставить людей, работающих при таком освещении, ощутить более тонкие эффекты этой стробоскопической пульсации, включая головные боли, напряжение глаз и дискомфорт, даже если эти пульсации невидимы. К счастью, высокочастотные электронные балласты, большинство из которых работает на частоте около 40 кГц, почти полностью устраняют проблемы со стробоскопической пульсацией ЛЛ (рис. 2).

Теперь становится понятно, что пульсация — это не просто неотъемлемое свойство используемого источника света, а результат его сочетания с соответствующей электроникой, такой как балласт для ЛЛ или драйвер для СИД. Кроме того, неидеальное электропитание, обусловленное источниками электронных шумов, распространенных в реальном мире, также вносит свой вклад в наблюдаемую суммарную пульсацию.

### Чем отличаются светодиоды от других источников?

В отличие от других источников света, СИД не присуща способность продолжать излучать свет, если ток прекратится. Когда ток, протекающий через СИД, снижается до нуля, то световой поток также снижается до нуля — как правило, в пределах нескольких микросекунд. Например, из-за конкретно этой характеристики СИД часто используются в высокоскоростной волоконно-оптической связи. Пульсация является функцией источника света и стабильности соответствующей электроники. Поэтому любая флуктуация в источнике питания светодиода может стать флуктуацией света или пульсацией.

При оценке пульсаций перед нами встают вопросы о том, какая степень пульсации для нас приемлема и какие проблемы она может нам создать. Даже при «идеальных» условиях степень наблюдаемых пульсаций в данном применении может меняться в зависимости от многих различных переменных:

- частоты пульсации, и будет ли она периодической (стробоскопической) или нет;
- формы пульсаций;
- возраста и остроты зрения наблюдателя;
- общего уровня освещенности;

- позиции, интенсивности и возможной синхронности других источников света;
- относительного передвижения наблюдателя, источника света и/или близлежащих объектов.

Все эти факторы объясняют, почему так трудно придумать один правильный, общепризнанный, количественный ответ на вопрос, есть ли пульсация источника света.

Диммирование светодиодных светильников добавляет еще одну переменную. Мало того, что диммер уменьшает уровни освещенности, создавая среду, где пульсация более очевидна, он добавляет еще один потенциальный источник нестабильности. Даже небольшие изменения в стабильности аналогового диммера, с фазовым управлением или управлением напряжением 0–10 В, могут привести к пульсациям в светодиодном драйвере. Особенно подвержены пульсациям низкокачественные светодиодные драйверы или драйверы, которые не разработаны

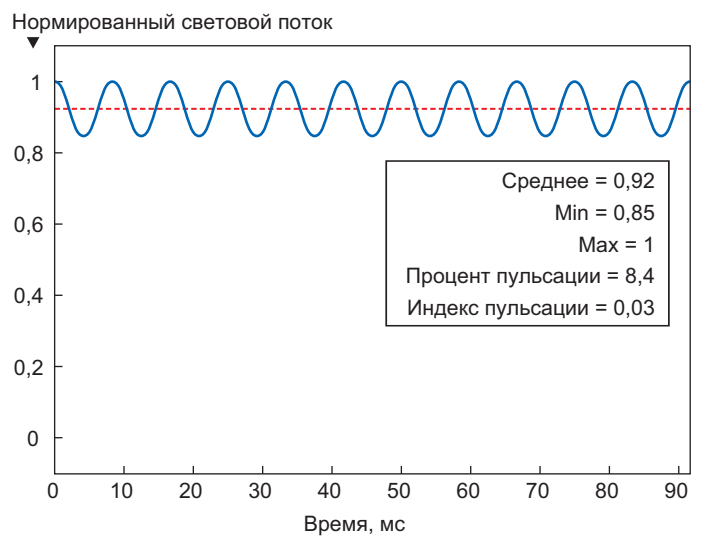


Рис. 1. Даже у обычной лампы накаливания можно обнаружить пульсацию, которая повторяет кривую переменного тока

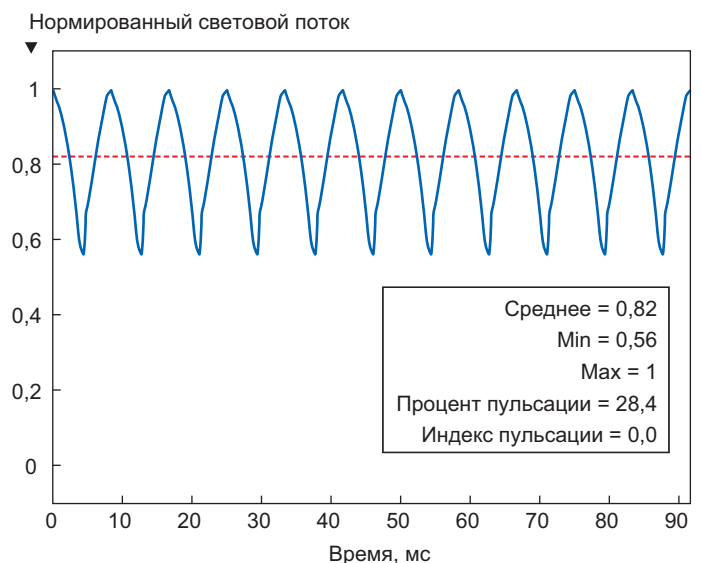


Рис. 2. У люминесцентных ламп с высокочастотным электронным балластом проблема пульсаций практически устранена

и не протестированы для обеспечения надежной работы совместно с диммером. Специально разработанные и тщательно протестированные диммеры, предназначенные для использования с диммируемыми светодиодными светильниками, часто могут улучшить параметры диммирования и устранить или минимизировать пульсацию до уровня, обусловленного самим драйвером.

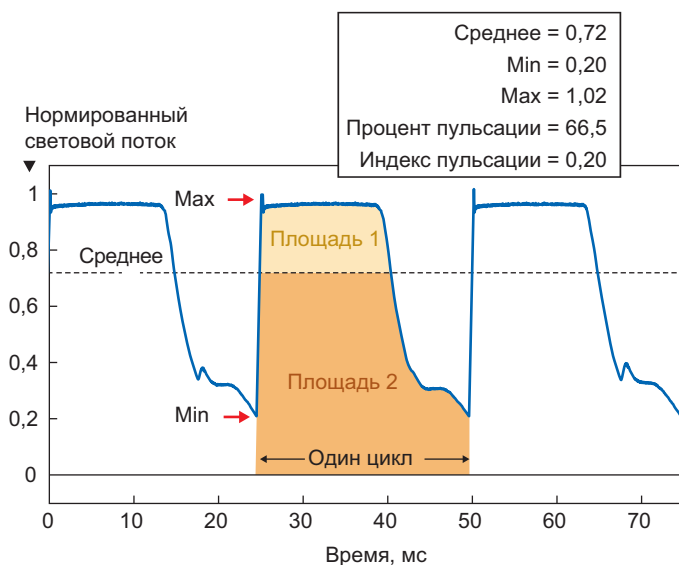
### Проделанная работа

Уже проделана большая подготовительная работа в области измерений пульсаций. Большинство измерений пульсации начинается с фотоприемника, способного к высокоскоростному измерению, который точно соответствует спектральной чувствительности человеческого глаза. Фотоприемник подключают к осциллографу или другому прибору, который улавливает и записывает результирующий электрический сигнал на высокой скорости, например собирает тысячи выборок в секунду. Для определения показателей, характеризующих степень пульсации, полученный сигнал может быть обработан в соответствии с различными алгоритмами, наиболее распространенными из которых в настоящее время являются «Индекс пульсации» и «Процент пульсации», описанные в справочнике Светотехнического инженерного общества — IES (США).

Рассмотрим рис. 3, чтобы понять характеризующие степень пульсации показатели, которые основаны на следующих уравнениях:

- Индекс пульсации = (площадь 1)/(площадь 1 + площадь 2).
- Процент пульсации =  $100\% \times (\text{максимальное значение} - \text{минимальное значение}) / (\text{максимальное значение} + \text{минимальное значение})$ .

Хотя оба этих значения относительно легко измерить и вычислить, у них имеются недостатки. Во-первых, значения



**Рис. 3.** Показатели «Индекс пульсации» и «Процент пульсации», рассчитанные для светодиодного светильника, только частично показывают потенциальные проблемы пульсации в полупроводниковой светотехнике

вычисляются независимо от частоты. Источник света, частота пульсации которого 10 000 Гц, что далеко за пределами человеческого зрения, имеет такое же значение, как и источник света, частота пульсации которого 10 Гц и хорошо видна всем. Кроме того, эти показатели непригодны для описания прерывистой или временной пульсации, их лучше использовать для сравнения источников света с периодической формой сигнала на той же частоте. Работа Департамента энергетики США (US Department of Energy) дает больше информации по этой теме [2].

Из-за указанных недостатков большинство измерений пульсации осуществляется посредством субъективного наблюдения: тренированные наблюдатели, имеющие хорошую остроту зрения, наблюдают источник света в контролируемых условиях. Не удивительно, что часто это приводит к различиям в ответах на вопрос, «присутствует ли пульсация». Ответы, как правило, зависят от наблюдателя, что делает особенно трудным воспроизведение результатов на различных испытательных площадках. Другой потенциальной проблемой является то, что стробоскопическая пульсация за пределами диапазона видимых частот, которая может способствовать невидимому дискомфорту, не определяется с помощью этих методов. Несмотря на эти недостатки, субъективное наблюдение до сих пор является методом, наилучшим образом отражающим поведение и ожидания потребителя.

Новые методы измерения пробуют преодолеть недостатки алгоритмов «Индекса пульсации» и «Процента пульсации», сочетая их с практичностью и достоинствами метода визуального наблюдения. Эти более продвинутые алгоритмы все еще используют те же измерения формы сигнала, но стремятся к частотно-селективному измерению. Они часто включают в себя БПФ (быстрое преобразование Фурье) сигнала, что позволяет анализировать сложную, даже не периодическую, форму сигнала в виде суммы отдельных частот. Данная методика позволяет применять алгоритмы с определенными весовыми коэффициентами для частот, представляющих интерес, — например, частот, которые более вероятно будут видимыми или которые будут вызывать головную боль и дискомфорт. В теории эти измерения позволят исследователям учесть и стробоскопическую, и переходную пульсацию, а также устанавливать различные пороги в зависимости от применения — например, в дорогом архитектурном освещении или обычном уличном.

### Текущие исследования

Научно-исследовательский центр освещения Ренсслеровского политехнического института (The Rensselaer Polytechnic Institute Lighting Research Center, LRC) был одним из первых сторонников анализа основных частот, ответственных за пульсацию. В публикации «Рекомендуемый способ определения непосредственного восприятия пульсации источника света» (Recommended Metric for Assessing the Direct Perception of Light Source Flicker, январь 2015) используется указанный подход, и полученное значение связывается с вероятностью обнаружения пульсации типичным наблюдателем [3].

Самой последней разработкой в этой области стала публикация IEEE 1789-2015 «Рекомендуемая практика для модулирования тока в светодиодах высокой яркости для

уменьшения рисков для здоровья наблюдателя» Института инженеров по электротехнике и радиоэлектронике (IEEE Recommended Practices for Modulating Current in High-Brightness LEDs for Mitigating Health Risks to Viewer, [4]). Этот всеобъемлющий и неожиданно спорный документ разрабатывался в течение нескольких лет с изучением и суммированием результатов многих предшествующих исследований по пульсации [5]. Как и работа LRC, рекомендации IEEE подтвердили влияние частоты на пульсации. В рекомендациях IEEE даются значения предельных частот для случаев «низкий риск» и «отсутствие риска» для некоторых областей применения освещения.

В то время как многие предыдущие работы были сосредоточены главным образом на видимой пульсации как таковой, работа IEEE подчеркивает потенциальные риски для здоровья, обусловленные пульсациями. Это тонкое, но важное различие привлекло к себе пристальное внимание производителей, которые, возможно, опасались негативной реакции, если бы их продукция была связана с неблагоприятными последствиями для здоровья. Сразу после публикации IEEE 1789 Национальная ассоциация производителей электроники (National Electronic Manufacturers Association, NEMA) опубликовала документ «Временные световые артефакты» (Temporal Light Artifacts, TLA), в котором изложила свою позицию. В этом документе делается замечание работе IEEE за «чрезмерную строгость», а также указывается, как другие стандарты, например Energy Star, полагаются на неадекватные методики определения пульсации, такие как индекс

пульсации [6]. NEMA представила документ, описывающий ожидаемый стандарт, разработанный рабочей группой NEMA TLA, который будет обеспечивать ориентированные на приложения рекомендации и тестовые процедуры, специфичные для светодиодного освещения.

### Следующие шаги

Не смотря на то, что проблема пульсаций не нова, последние разработки индустрии освещения выдвинули эту проблему для многих проектировщиков и производителей на передний план.

В то же время существующие и разрабатываемые промышленные стандарты не дают адекватного описания методик измерений и количественной оценки пульсаций светодиодных источников света (и связанной с ними электроники, включая драйверы и диммеры). Дальновидные производители и регулирующие органы активно участвуют в интенсивных попытках разработки усовершенствованной, воспроизводимой методики измерений. В ближайшие месяцы стоит следить за результатами этой захватывающей работы. ●

### Литература

1. <http://bit.ly/1KIPW8C>
2. <http://1.usa.gov/1PQckxh>
3. <http://bit.ly/1WegKOp>
4. <http://bit.ly/1We9abN>
5. <http://bit.ly/1Mf9tYT>
6. <http://bit.ly/1kItDod>