

Вольфганг Эндрих (Wolfgang Endrich)

Светодиодные модули с питанием драйвера от сети переменного тока напряжением 230 В, имеющие значительно сниженный уровень пульсаций

К вопросу о пульсациях светового потока

➔ Одна из текущих тенденций на рынке светодиодного освещения — переход на светодиодные модули с драйверами, питаемыми переменным током. К настоящему времени достигнут большой прогресс в отношении диммируемости таких модулей и снижения уровня их пульсаций. Тем не менее разница в используемых методах приводит к значительным различиям в результатах. В статье представлен новый, улучшенный метод, позволяющий существенно снизить уровень пульсаций.

В годовом плане НИОКР в области полупроводникового освещения Министерства энергетики США (DOE) за 2015 г. прогнозируется, что к 2030 г. доля светодиодных светильников в США составит около 80%. Это приведет к сокращению энергопотребления примерно на 60%. Суммарные потери в светодиодном драйвере могут составлять 10% и даже выше, а частота отказов светодиодного драйвера для азиатской продукции достигает 52%. Поэтому DOE рекомендует применять светодиодные источники света с драйверами, питаемыми переменным током, и называет их «грядущим поколением источников света».

Сегодня проектирование нового светодиодного светильника сопряжено с рядом значительных трудностей — в частности, связанных с правильным выбором светодиодов и источника питания (ИП). Благодаря новой технологии драйверов переменного тока этот процесс заметно упростился: теперь можно непосредственно питать светодиодный драйвер переменным напряжением 230 В, получая на выходе свет практически без пульсаций и с очень хорошими характеристиками диммирования.

Необходимость разрабатывать специальный ИП может существенно отсрочить завершение нового проекта. Гораздо проще воспользоваться новой технологией с драйвером переменного тока, которая имеет очевидные преимущества: помимо существенного снижения себестоимости изделия, она позволяет использовать и комбинировать в одной схеме светодиоды разных производителей. Теперь можно использовать значительно более компактный ИП, который легко и аккуратно встраивается в любой корпус, а также может устанавливаться непосредственно на печатной плате со светодиодами.

Непосредственное питание драйвера переменным напряжением 230 В

Идея непосредственного питания светодиодного драйвера переменным напряжением 230 В может показаться сомнительной, особенно с учетом требований, касающихся безопасного сверхнизкого напряжения. Но надлежащие меры безопасности и изоляция позволяют быстро развеять эти сомнения. Новая микросхема (ИС) EL01 (euroLighting) позволяет непосредственно питать светодиодные драйверы от сети переменного



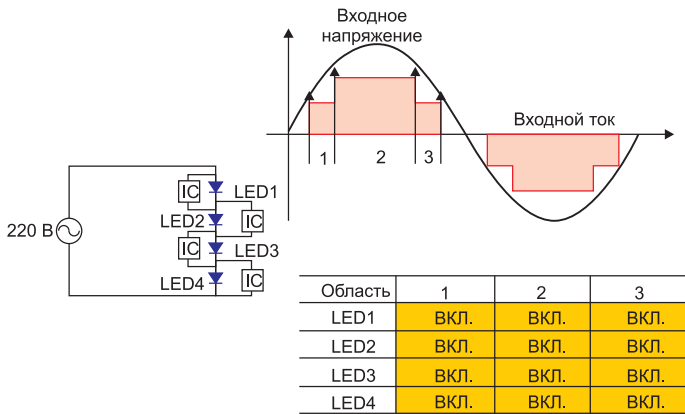


Рис. 1. Питание переменным током с применением новой ИС

тока напряжением 230 В, получая на выходе свет практически без пульсаций. Переменное сетевое напряжение выпрямляется и без дальнейшего сглаживания подается на драйвер переменного тока прямого действия.

Драйвер вырабатывает импульсы частотой 100–120 Гц и питает светодиоды стабилизированным током с напряжением 40–70 В. Такая схема имеет то преимущество, что позволяет непосредственно управлять светодиодами разных производителей с номинальным рабочим напряжением 2–70 В (рис. 1). При рабочем напряжении 70 В можно непосредственно управлять несколькими светодиодами с разным номинальным рабочим напряжением (максимум 70 В) в составе группы. Так, например, если номинальное рабочее напряжение светодиода равно 2 В, можно последовательно соединить до 35 светодиодов этого типа. Схему можно легко расширить с повышением мощности, добавляя новые ИС.

Различные методы диммирования

В Германии и азиатских странах уже на протяжении ряда лет многочисленные светотехнические изделия оборудуются драйверами постоянного тока. Они доказали свою эффективность в лампах прямой замены, лампах типа GU10, потолочных светильниках направленного света, широкоугольных потолочных прожекторах мощностью до 120 Вт, плоскостных светильниках размером 62×62 см и трубчатых светодиодных лампах. На рынке предлагается также множество ИС, на основе которых можно реализовывать схемы с непосредственным питанием переменным током. Есть, однако, один параметр, по которому они существенно различаются: в общем случае они допускают диммирование, но двумя разными методами.

Новый метод с использованием нескольких экземпляров новой ИС

С новой ИС и схемой на ее основе можно реализовать одно-временное диммирование всего светильника. Это значит, что все светодиоды диммируются равномерно. Рис. 2 показывает, что светодиодные модули с помощью EL01 можно легко диммировать без изменений в характере модуляции светового потока. Во многих других технологиях питания светодиодов переменным током применяется последовательное диммирование с централизованным управлением всего от одной ИС.

Метод с использованием одной ИС для последовательного диммирования

Наиболее популярен подход с последовательным диммированием отдельных сборок. При этом отдельные группы питаются полной мощностью, а при необходимости повышения яркости добавляются новые группы. Недосток в том, что в этом случае нельзя диммировать все светодиоды одновременно, поэтому тепловая нагрузка колеблется и распределена неравномерно по площади светильника. При таком подходе используется централизованное управление всего от одной ИС.

Например, последовательное диммирование обыкновенного светодиодного модуля переменного тока до 6 Вт приводит к модуляции светового потока с периодом около 9 мс, причем некоторые светодиоды уже светятся с меньшей яркостью. При диммировании до 4 Вт отдельные светодиоды гаснут полностью. Применение такой схемы также может привести к неравномерному тепловыделению с появлением зон повышенного нагрева. Среди прочего, это зависит от места монтажа ИС.

Предлагаемый новый метод предусматривает использование нескольких ИС, благодаря чему обеспечивается равномерная тепловая нагрузка. В результате совершенно реалистичным становится фактический срок службы в 50 000 ч. Вдобавок, данная ИС имеет отрицательный температурный коэффициент, за счет которого полная мощность снижается при повышении температуры сверх +85 °С во избежание перегрева. Долгосрочные испытания схем с этими компонентами на протяжении 30 000 ч продемонстрировали их многочисленные преимущества: значительное упрощение схемы с избавлением от электролитических конденсаторов, дросселей и трансформаторов; соразмерность фактического срока службы схемы и светодиодов (более 50 000 ч); возможность равномерного диммирования без использования дополнительных компонентов; отсутствие пульсаций при любых уровнях мощности.

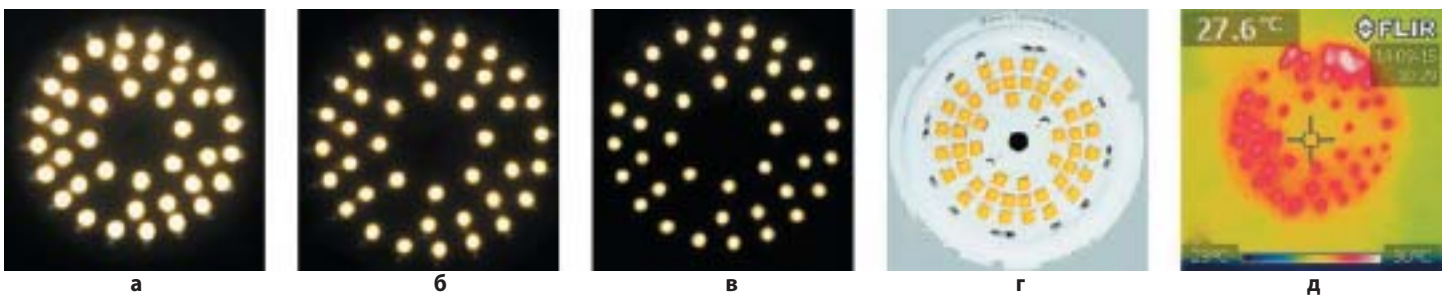


Рис. 2. Светодиодные модули EL01 с диммированием: а) до 5 Вт; б) 2 Вт; в) 1 Вт; г, д) монтаж кристаллов по всему периметру; д) равномерное распределение тепловыделения за счет указанного способа монтажа

О неп пульсирующих источниках света переменного тока

На этом этапе могут возникнуть вопросы о неп пульсирующих источниках света (особенно питаемых переменным током), а также о способах выражения и измерения уровня пульсаций. Справедливым будет отметить, что трубчатым люминесцентным лампам с обыкновенным или высокоэффективным электромагнитным пускорегулирующим аппаратом (ПРА) также свойственны пульсации на частоте 100 Гц, а при пониженной температуре окружающего воздуха их световой поток снижается. Люминесцентные лампы с электронным ПРА, в том числе энергосберегающие, работают на частоте 40–50 кГц, поэтому в обычном случае у них не должно быть видимых пульсаций. На деле же все обстоит несколько иначе. Нередко на высоких частотах переключения из соображений экономии применяют недостаточно емкие входные конденсаторы. В результате высокочастотная цепь лампы питается сильно пульсирующим напряжением. Эти пульсации вызывают модуляцию яркости излучаемого света, отчего лампы данного типа зачастую имеют довольно высокий уровень пульсаций на частоте 100 Гц.

Как уже сказано, всем традиционным источникам света, в том числе накаливаемым, газоразрядным высокой интенсивности и люминесцентным, свойственна видимая или невидимая модуляция светового потока и яркости. Эта модуляция описывается различными терминами: «пульсации (светового потока/освещенности)», «мерцание» и т. д. Характер и уровень пульсаций электрических источников света может зависеть от способа преобразования энергии переменного тока в свет. Кроме того, пульсации могут быть следствием переходных помех в линиях электропередачи переменного тока.

Не следует путать электрические пульсации с пульсациями светового потока — характерной модуляцией света от источника, вызванной входным электрическим сигналом, а не помехами. В зависимости от технологии на пульсации светового потока могут влиять разные характеристики источника света. Пульсации светового потока светодиодов обычно определяются драйвером.

Пульсации светового потока люминесцентных, металлогалогенных и натриевых ламп высокого давления с электромагнитным ПРА составляют предмет озабоченности светотехнического сообщества ввиду потенциального их воздействия на человека, которое может варьироваться от легкого неудобства до неврологических проблем. Такое воздействие зависит от характеристик модуляции света данного источника, окружающей освещенности, чувствительности конкретных людей и характера выполняемых ими задач. Низкочастотные пульсации могут вызывать припадки у лиц, страдающих фотосенситивной эпилепсией. Установлена связь между пульсациями офисных люминесцентных ламп с электромагнитным ПРА и головными болями, усталостью, неясностью зрения, зрительным напряжением и сниженной эффективностью выполнения зрительных задач у определенных категорий населения. Пульсации могут вызывать опасные стробоскопические эффекты.

Вернемся к схемам переменного тока. Свет, полностью свободный от пульсаций, испускает только Солнце. ИС, необходимые для реализации описанных выше методов, работают существенно различным образом.

Порог восприятия пульсаций

При оценке временной однородности как критерия качества освещения необходимо рассматривать быстрые и медленные изменения по отдельности. Быстрые изменения — это временные флуктуации светового потока из-за пульсаций входного сигнала, например в случае работы на переменном токе. Ключевой фактор, от которого зависит, будут ли эти флуктуации восприниматься как раздражающие, — порог восприятия пульсаций глазом, также зависящий от индивидуальных условий. Если частота модуляции светового потока выше этого порога, человеческий глаз ее не воспринимает. Эта граничная частота, на которой периодически возникающие зрительные стимулы только начинают восприниматься в качестве таковых, называется порогом восприятия пульсаций и находится у большинства людей ниже 100 Гц, а значительное число людей (по сведениям автора, таких более половины) не воспринимают даже пульсации на частоте выше 70 Гц. Поэтому во многих приложениях порог восприятия пульсаций светового потока считается приблизительно равным 70 Гц. Ниже этого порога модуляция светового потока воспринимается как раздражающее мерцание. Особенно чувствительны к нему глаза в зоне периферийного зрения. Быстро движущиеся объекты, например токарные станки, могут также вызывать стробоскопические эффекты.

Относительно медленные изменения освещенности (на интервале от секунд до минут) могут оказывать довольно благоприятное воздействие на психическое состояние человека. Возможность варьировать световую обстановку с помощью систем искусственного освещения лишь понемногу начинает рассматриваться как значимый аспект качества. Статичное, монотонное освещение в долгосрочной перспективе вызывает усталость и не оказывает благоприятного влияния на концентрацию и эффективность труда.

Существует постоянный свет и постоянный свет с переменной составляющей. В отношении диммирования светодиодов обычным методом широтно-импульсной модуляции (ШИМ), при котором свет обычно состоит из постоянной и переменной составляющих, справедливо следующее выражение:

$$W = (\Phi_{\max} - \Phi_{\min}) / \Phi_{\text{mean_WLED}} = \leq 1 \text{ Вт} < \infty.$$

Недостаток — существенная модуляция светового потока (рис. 3).

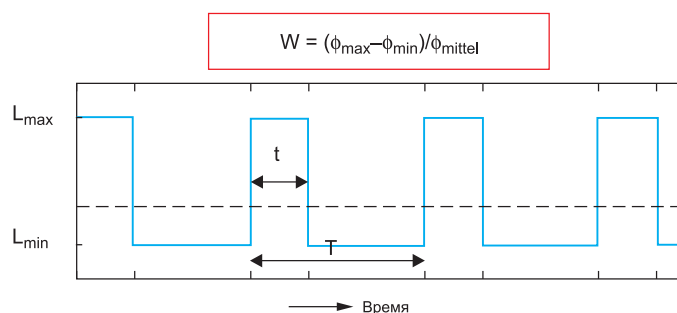


Рис. 3. Модуляция светового потока в ШИМ-системе

Критерии качества для получения непульсирующего света

Для получения качественного освещения важны два фактора. Во-первых, тактовая частота светодиодов должна быть значительно выше порога восприятия пульсаций светового потока. В схеме драйвера переменного тока прямого действия (см. метод 1 выше) тактовая частота равняется 100 Гц. Во-вторых, распределение силы света должно быть как можно более равномерным. Это означает, что прямоугольное распределение силы света дает сбалансированный свет, а клиновидные пики светового потока воспринимаются как раздражающие (рис. 4а, б).

На рис. 4 показаны флуктуации светового потока двух разных светодиодных модулей переменного тока. Светодиодный модуль EL01 компании euroLighting имеет трапецеидальную кривую изменения светового потока (рис. 4а), а светодиодный модуль другого производителя — кривую с клинообразными пиками (рис. 4б). (Модуляция светового потока регистрируется

сверхбыстродействующим фотодиодом в обычном режиме работы и в режиме диммирования.)

Количественная оценка пульсаций светового потока

Перейдем к рассмотрению теоретических основ измерения пульсаций светового потока. Весьма интересный отчет был выпущен Отделом энергоэффективности и возобновляемой энергии Министерства энергетики США DOE. Приведенные ниже пояснения опираются на этот отчет и на краткую справку.

Некоторые выводы из краткой справки

Количественно охарактеризовать пульсации светового потока можно с помощью одной из трех величин: процентного показателя пульсаций светового потока (percent flicker), коэффициента модуляции (modulation index) и коэффициента пульсаций светового потока (flicker index). Но результатом будет осознание того, что не бывает «хороших» и «плохих» пульсаций. Годится ли свет с тем или иным уровнем пульсаций для внутреннего освещения, наружного освещения и, наконец, для людей, зависит от конкретного применения.

Для общего и рабочего освещения в офисах, учебных классах и аудиториях, лабораториях, коридорах и на промышленных объектах всегда следует применять источники света с низким уровнем пульсаций. Свести к минимуму пульсации особенно важно в тех местах, где проводят много времени восприимчивые к ним группы населения, например в поликлиниках, больницах, врачебных кабинетах, амбулаторных учреждениях. В противовес этому, на парковках, автомобильных дорогах и в других местах с наружным освещением, где уровни освещенности ниже и люди проводят меньше времени, пульсации не так важны.

В вышеупомянутом отчете DOE приводится очень хороший пример того, о чем здесь идет речь.

Измерение пульсаций светового потока

Для аналитического расчета уровня пульсаций светового потока пригодны три метода. (Эти пульсации не следует путать с пульсациями напряжения и тока в электрических цепях.) Чаще всего измеряют коэффициент пульсаций светового потока и процентный показатель пульсаций светового потока; реже применяется коэффициент модуляции. Общее между всеми этими величинами — их относительный характер. В коэффициенте пульсации светового потока учитывается форма выходного светового сигнала, а также его амплитуда согласно справочнику. Коэффициент пульсации светового потока принимает значения от 0 до 1, где 0 означает абсолютно неизменный световой поток. Более высокие значения этого коэффициента указывают на повышенную вероятность заметного мерцания лампы, а также стробоскопического эффекта. Сравним новый светодиодный модуль с обыкновенным модулем переменного тока, воспользовавшись для этого коэффициентом пульсаций светового потока и процентным показателем пульсаций светового потока.

На рис. 6 желтой линией показана форма пульсаций светового потока, а голубой — форма фототока. Красная линия —

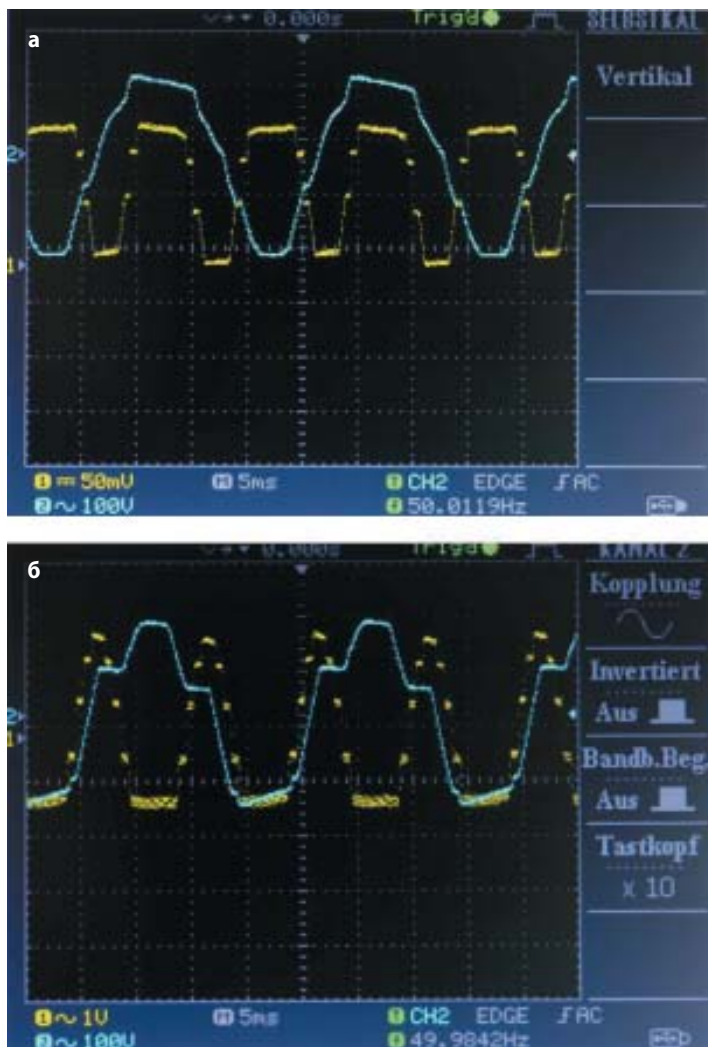


Рис. 4. Флуктуации светового потока двух различных светодиодных модулей переменного тока: а) новый метод (трапецеидальная кривая); б) традиционный метод (клиновидные пики светового потока). Модуляция светового потока регистрируется сверхбыстродействующим фотодиодом в обычном режиме работы и в режиме диммирования

нулевой уровень, а фиолетовая — средний световой поток. На рис. 6 представлены две осциллограммы трапецеидального выходного светового сигнала и соответствующие параметры пульсации: коэффициент пульсаций светового потока и процентный показатель пульсаций светового потока. Приведем результаты их расчета:

- Коэффициент пульсаций светового потока для рис. 6а:
 $F_i = \text{Площадь области 1} / (\text{Площадь области 1} + \text{Площадь области 2}) = 9 / (9 + 19) = 0,32.$
- Процентный показатель пульсаций светового потока для рис. 6а:
 $F_{\%} = (\text{Макс} - \text{Мин}) / (\text{Макс} + \text{Мин}) \times 100\% = (2,3 - 0,5) / (2,3 + 0,5) \times 100\% = 64,3\%.$
- Коэффициент пульсаций светового потока для рис. 6б:
 $F_i = \text{Площадь области 1} / (\text{Площадь области 1} + \text{Площадь области 2}) = 1 / (1 + 3) = 0,25.$
- Процентный показатель пульсаций светового потока для рис. 6б:
 $F_{\%} = (\text{Макс} - \text{Мин}) / (\text{Макс} + \text{Мин}) \times 100\% = (2,4 - 0,3) / (2,4 + 0,3) \times 100\% = 77,8\%.$

Сравнив кривые на рис. 6 и рис. 7, можно увидеть различие в форме выходного светового сигнала (желтые кривые). Сигналы на рис. 6 имеют трапецеидальную форму, сигнал на рис. 7 содержит пики. Все измерения выполнялись при работе ИС драйвера переменного тока в одинаковом режиме, и их результаты позволяют сделать вывод о том, какая из кривых лучше подходит для человеческого глаза: это трапецеидальная кривая с большим количеством света выше средней линии. Иными словами, область 1 имеет большую площадь, поэтому пульсации будут гораздо менее заметны.

Заключительные замечания

В отчете Министерства энергетики США делается вывод о том, что пульсации светового потока привлекают все большее внимание со стороны производителей, а также органов стандартизации и составителей технических заданий. Некоторые производители, по всей видимости, уделяют значительное внимание учету пульсаций светового потока, о чем свидетельствуют

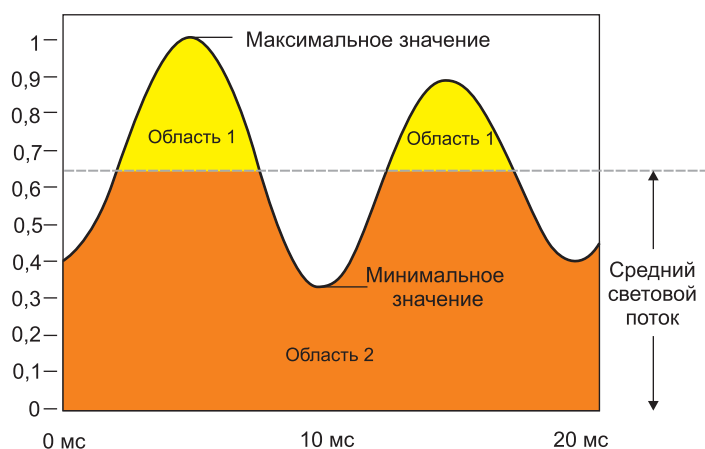


Рис. 5. Характеристики периодического сигнала, применяемые при расчете показателей пульсаций светового потока (адаптировано из «Справочника по светотехнике» Общества инженеров-светотехников США, издание 10-е)

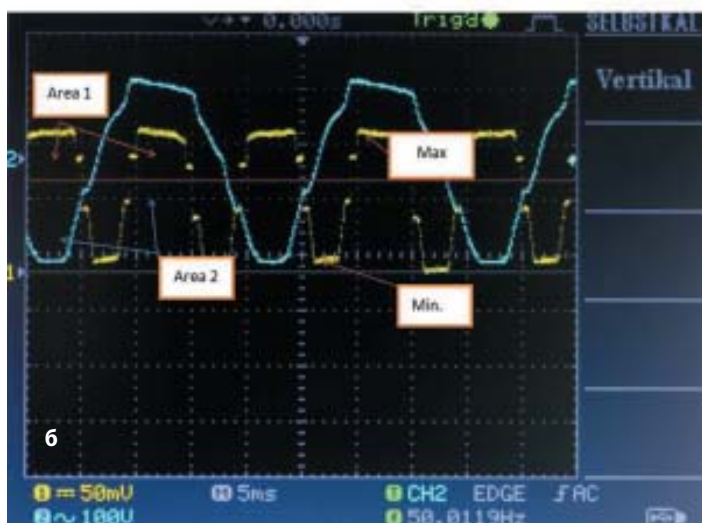
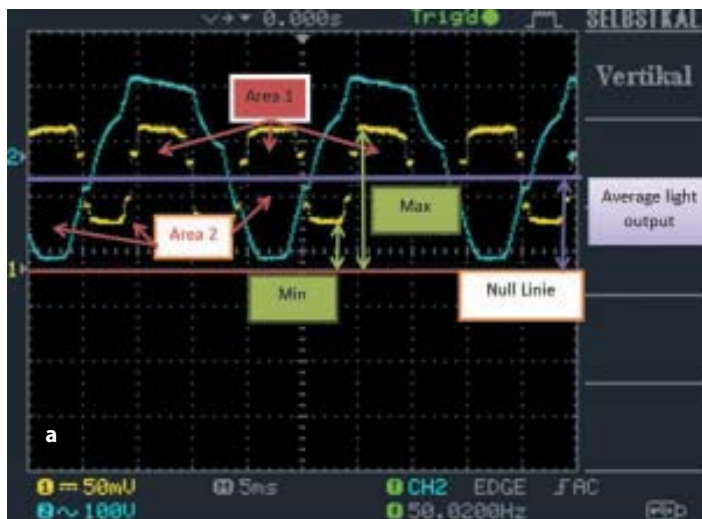


Рис. 6. Две осциллограммы трапецеидального выходного светового сигнала и соответствующие параметры пульсации: а) коэффициент пульсаций светового потока; б) процентный показатель пульсаций светового потока

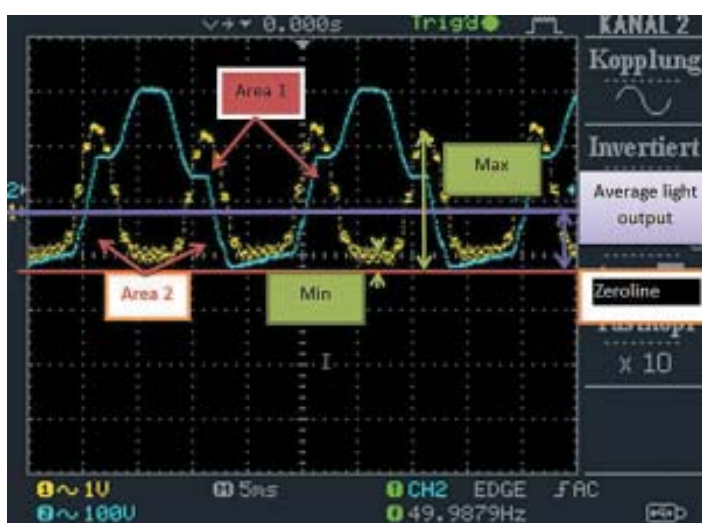


Рис. 7. Форма выходного светового сигнала другого драйвера переменного тока, в большей степени характеризующаяся пиками

Краткая справка по измерению пульсаций светового потока

Процентный показатель пульсаций светового потока

$$F_{\%} = (\text{Макс} - \text{Мин}) / (\text{Макс} + \text{Мин}) \times 100\%$$

Процентный показатель пульсаций светового потока — легко рассчитываемый и часто используемый параметр. Он показывает относительную амплитуду изменений светового потока между минимальным и максимальным его значением. Чем меньше его значение, выраженное в процентах, тем лучше.

Коэффициент модуляции

$$F = (\text{Макс} - \text{Мин}) / \text{Среднее}$$

Еще один параметр, с помощью которого можно измерять пульсации светового потока, — коэффициент модуляции. Он показывает, насколько токовый световой сигнал отклоняется от среднего значения. Чем выше его значение, тем больше отклонение от среднего. Небольшие значения коэффициента модуляции говорят о слабой модуляции, что указывает на хорошее качество светильника.

Коэффициент пульсаций светового потока

$$F_j = \text{Площадь области 1} / (\text{Площадь области 1} + \text{Площадь области 2})$$

Более сложный метод измерения пульсаций — расчет коэффициента пульсаций светового потока. Этот параметр позволяет наилучшим образом сравнивать результаты измерений. В данном методе учитывается общее количество света, испущенного источником, а не только минимальное и максимальное значения. Вычисляется площадь под всей кривой и площадь областей выше и ниже среднего значения. Коэффициент пульсаций светового потока связывает фототок, превышающий среднее значение, с полным фототоком. Результат принимает значения от 0 до 1 (или от 0 до 100). Здесь также действует правило «чем ниже, тем лучше». Следует, однако, иметь в виду, что хотя коэффициент пульсаций светового потока обеспечивает более адекватное сравнение, он не учитывает периодические изменения светового потока (на основной частоте). Это значит, что если у двух светильников одинаковое значение коэффициента пульсаций светового потока, лучшим из них будет тот, у которого выше основная частота изменения светового потока.

улучшенные характеристики новых поколений продукции. Общество инженеров-светотехников США и МКО рассматривают возможность разработки стандартов на измерение пульсаций светового потока, а рабочая группа IEEE разрабатывает рекомендации по оценке рисков, связанных с пульсациями. В сово-

купности эти усилия могут в ближайшем будущем облегчить проектировщикам и составителям технических заданий работу по снижению риска возникновения у покупателей проблем, связанных с пульсациями.

Оригинал статьи опубликован на www.led-professional.com