

Алексей Архипов | alexsey@plain.com.ru | Андрей Зорькин | zorkin@plain.com.ru
Игорь Коростелев | plain@plain.com.ru | Павел Мачалин | mp@plain.com.ru

О пульсациях освещенности, создаваемых светодиодными светильниками

Полупроводниковая светотехника, обеспечивая эффективное использование электрической энергии для получения требуемого уровня освещенности, позволяет повысить качество освещения, во многом определяемое коэффициентом пульсации.

Негативные тенденции энергетического сектора глобальной мировой экономики, связанные с неуклонным повышением общего уровня энергопотребления, явились своеобразным катализатором прорывных инновационных энергосберегающих технологий XXI века.

Одной из наиболее знаковых «точек приложения» совместных усилий ведущих мировых компаний стала задача поиска путей повышения энергоэффективности осветительной техники и приборов, которая получила практическое разрешение с появлением таких оптоэлектронных приборов, как мощные светодиоды и кластеры на их основе. Низкое удельное энергопотребление, высокая светоотдача и продолжительный срок службы (порядка 100 000 ч) предопределили неизбежность перехода от традиционных источников освещения (ламп накаливания и люминесцентных ламп) к альтернативным — на основе мощной полупроводниковой оптоэлектроники.

В условиях повышенного интереса российских потребителей к инновационным источникам освещения, во многом стимулированного правительственной концепцией поэтапного отказа от производства и использования ламп накаливания, отмечен и рост внимания к вопросам нормирования показателей освещения, самым неблагоприятным и «непонятным» из которых как для производителей, так и для потребителей была и остается пульсация освещенности.

Что же такое «пульсация освещенности» и чем обуславливается ее «коварство»? По определению коэффициент пульсации освещенности $K_{\text{ПО}}$ (%) — это критерий оценки глубины колебаний (изменений) освещенности, создаваемой осветительной установкой, во времени, выражающийся формулой:

$$K_{\text{ПО}} = (E_{\text{max}} - E_{\text{min}}) / 2E_{\text{sr}} \times 100, \quad (1)$$

где E_{max} и E_{min} — максимальное и минимальное значения освещенности за период ее колебания, лк; E_{sr} — среднее значение освещенности за этот же период, лк.

Нормативными документами [1, 2] регламентирован дифференцированный подход

к нормированию предельных значений $K_{\text{ПО}}$ на конкретных рабочих местах в зависимости от видов выполняемых работ — от 5% для рабочих мест операторов ПЭВМ до 20% для рабочих мест с выполнением самых грубых зрительных работ.

Актуальность проблемы пульсации освещенности рабочего места обусловлена ее негативным влиянием на биоэлектрическую активность головного мозга человека. По данным ряда источников [3, 4], электрофизиологические исследования показали, что перестройка основной ритмической активности нейронов, спровоцированная световыми пульсациями в диапазоне частот до 300 Гц, вызывает повышенную утомляемость и отрицательно воздействует на общее функциональное состояние организма человека, усиливая тормозные процессы центральной нервной системы. При этом негативное влияние пульсаций освещенности, воздействующих на рецепторы зрительных органов человека, усиливается с ростом глубины модуляции светового потока.

Непосредственной причиной пульсации освещенности является модуляция светового потока осветительной установки (источника света), обусловленная непостоянством во времени приложенного питающего напряжения. Наиболее показательными, с этой точки зрения, являются глубокие (до 65 %) световые пульсации газоразрядных (люминесцентных) ламп на частоте 100 Гц, соответствующей удвоенной частоте питающего напряжения бытовой осветительной сети переменного тока. Повсеместное внедрение газоразрядных источников света в свое время и явилось основной предпосылкой для нормирования такого показателя, как «коэффициент пульсаций освещенности», и повышенного внимания к этому параметру со стороны надзорных органов.

В отличие от традиционных источников света, ориентированных на непосредственное питание от сетей переменного тока со «стандартными» параметрами, мощная оптоэлектроника потребовала разработки и применения специализированных драйверов (преобразователей) для согласования параметров внешней питающей сети с параметрами конкретных осветитель-

ных устройств на базе полупроводниковых излучающих структур.

При кажущемся многообразии существующих в настоящее время вариантов схемотехнической реализации таких драйверов, обусловленном отсутствием единого подхода потребителей и разработчиков устройств светотехники к вопросам проектирования осветительных сетей нового поколения, общим характерным признаком является наличие на выходе любого из драйверов емкостной «банки», величина которой, в конечном итоге, и определяет качество (уровень пульсаций) питающего напряжения светодиодов и кластеров на их основе.

Влияние пульсаций питающего напряжения на уровень пульсаций тока, потребляемого полупроводниковой излучающей структурой, в зависимости от типа светодиода (крутизны ВАХ в рабочей точке) наглядно проиллюстрировано рис. 1.

Очевидно, что пульсации светового потока проектируемой осветительной установки, как функция мгновенного значения потребляемого тока, в конечном итоге определяются величиной пульсаций выходного напряжения драйвера, конкретным типом применяемых светодиодов нагрузки (крутизной ВАХ в рабочей точке) и временем послесвечения люминофора) и их количеством.

В настоящее время на внутреннем потребительском рынке сложилась своеобразная

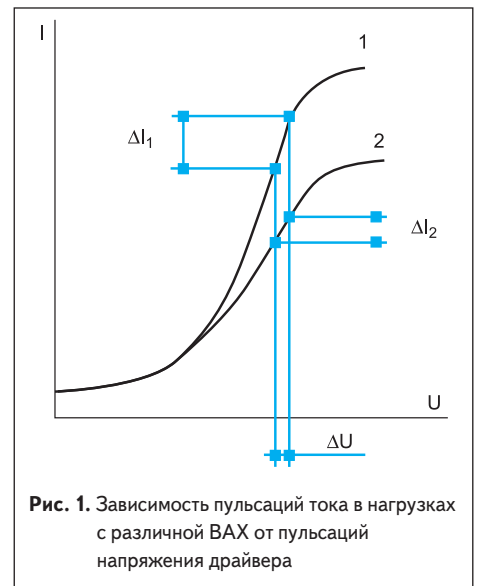


Рис. 1. Зависимость пульсаций тока в нагрузках с различной ВАХ от пульсаций напряжения драйвера

конъюнктура, характеризующаяся отсутствием адекватного восприятия проблем пульсаций освещенности и четких механизмов формирования технических требований. Конечные потребители светотехнических устройств зачастую склонны к «отождествлению» проблемы пульсаций освещенности (характеристика рабочего места) с пульсациями светового потока (характеристика источника света), а производители светотехнической аппаратуры, в свою очередь, — с пульсациями напряжения (тока) драйверов вторичного электропитания.

Ситуация усугубляется отсутствием в России единых норм на пульсации освещенности рабочих мест безотносительно к типу источника освещения (нормы действуют лишь применительно к газоразрядным лампам) и отсутствием портативных средств измерений высокого класса точности (разработанные и рекомендованные к применению при аттестации рабочих мест комбинированные люксметры-пульсметры типа ТКА-ПКМ (08), «Аргус-07» и «Эколайт-02» имеют основную относительную погрешность порядка 8–10%).

На практике имеют место диаметрально противоположные тенденции — от немотивированного предъявления отечественным производителям максимально жестких требований к драйверам вторичного электропитания, абсолютно не учитывающих реальные условия эксплуатации светотехнической аппаратуры конкретного исполнения, до массового использования продукции сомнительного качества с параметрами, не соответствующими требованиям российских нормативных документов.

Закономерным итогом обостряющейся конкурентной борьбы за внутренний рынок сбыта явилось проведение российскими предприятиями, позиционирующими себя в сфере разработки и производства драйверов для полупроводниковой светотехники, инициативных исследований, направленных на прогнозирование влияния собственных электрических параметров драйверов на светотехнические характеристики оконечных устройств.

Ниже представлены некоторые количественные и качественные результаты экспериментальных исследований, проведенных рязанским предприятием ООО «НПФ «Плазмаинформ» по выявлению взаимосвязи пульсаций выходного тока линейки драйверов типа PSL (Power Supply LED) собственной разработки с пульсациями освещенности контролируемой поверхности при ее засветке светодиодным светильником.

В настоящее время предприятие серийно производит и поставляет потребителям драйверы типоряда:

PSL XX C-XXX/XXX-XXX/XXX-XD-X
1 2 3 4 5 6 7 8 9

где: 1 — условное наименование; 2 — ориентировочная выходная мощность, Вт; 3 — знак «С» — наличие корпуса; 4 — номинальное значение стабилизированного выходного тока, А; 5 — второе предустанавливаемое значение стабилизированного выходного тока, А; 6 — максимальное/минимальное значения выходного рабочего напряжения, В; 7 — коэффициент

пульсаций выходного тока: «1» — менее 5%; «2» — 5–10%; «3» — 10–20%; «4» — более 20%; 8 — «D» — наличие управления яркостью (диммирование); 9 — цифры 1, 2, 3 и т. д. — другие версии PSL.

Измерения коэффициентов пульсаций выходного тока $K_{ПТ}$ и освещенности $K_{ПО}$ проводились при подключении исследуемого драйвера на реальную нагрузку — линейку светодиодов. Количество и способ соединения светодиодов выбирались из условия обеспечения граничных значений диапазона нагрузки конкретного типа драйвера.

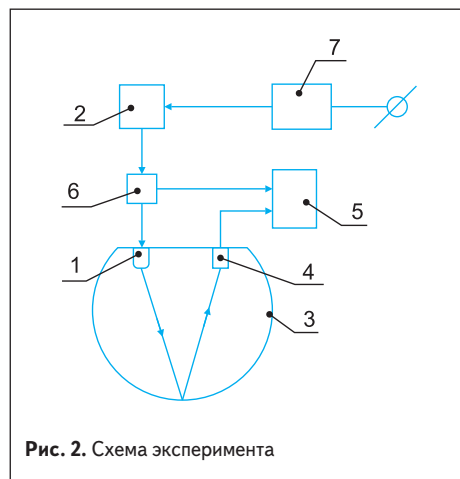


Рис. 2. Схема эксперимента

Схема эксперимента представлена на рис. 2. Светодиодная нагрузка (1) исследуемого драйвера (2) была помещена в сферический интегратор (3) диаметром ≈ 1 м.

Освещенность внутренней поверхности интегратора контролировалась регистратором (4), в качестве которого был использован фотосенсор типа APDS9002 производства компании Avago Technologies.

Выходной сигнал регистратора $U = f(t)$, характеризующий функцию изменения мгновенного значения освещенности во времени, подавался на первый измерительный вход осциллографа (5) типа LeCroy WaveAce 214. Сравнительные из-

мерения проводились при частоте среза фильтра низких частот (ФНЧ) осциллографа, равной 3 кГц, и при «открытом» входе осциллографа.

- Измеряемые параметры:
- размах пульсаций напряжения выходного сигнала регистратора $U_{ПНК}$;
 - среднее значение напряжения выходного сигнала регистратора $U_{СР}$.

Значения $U_{ПНК}$ и $U_{СР}$ вычисленные встроенным программным обеспечением, считывались с дисплея осциллографа.

Значение коэффициента пульсаций освещенности $K_{ПО}$ (%) вычислялось по формуле

$$K_{ПО} = U_{ПНК} / 2U_{СР} \times 100. \quad (2)$$

Справедливость формулы (2) основана на наличии прямой пропорциональности между освещенностью внутренней поверхности интегратора, отраженной от нее световым потоком и выходным напряжением регистратора:

$$E(t) \sim \Phi(t) \sim U(t). \quad (3)$$

Выходной ток исследуемого драйвера контролировался посредством датчика тока (6) — прецизионного измерительного резистора величиной 1 Ом. Выходное напряжение датчика, пропорциональное мгновенному значению выходного (нагрузочного) тока драйвера, подавалось на второй измерительный вход осциллографа.

Значение коэффициента пульсаций выходного тока $K_{ПТ}$ вычислялось по формуле аналогично $K_{ПО}$, где в качестве измеряемых величин использовались соответствующие параметры сигнала токового датчика.

Оценка $K_{ПТ}$ и $K_{ПО}$ проводилась при изменении входного питающего напряжения $U_{ВХ}$ (минимум-номинал-максимум) и нагрузки на трех образцах каждого исследуемого типа драйвера. В качестве регулируемого источника входного питающего напряжения (7) использовался программируемый источник АС/АС типа ПИНТ-С500 собственной разработки.

Обобщенные результаты оценки представлены в таблице 1.

Таблица 1. Обобщенные результаты оценки

Тип драйвера	Характеристика нагрузки		$K_{ПТ}$, %		$K_{ПО}$, %	
	Количество светодиодов	Ток нагрузки, мА	Без фильтра	С фильтром ($F_{СР} = 3$ кГц)	Без фильтра	С фильтром ($F_{СР} = 3$ кГц)
PSL-14	8	350	24	4	20	3,5
	12		31	4	9	2
PSL-20	12	350	17	5	20	5
PSL-22	18		11	3,5	11	3,5
PSL-26		4	4			
PSL-30	16×(2×16)	600	17	16	11	9
PSL-34	28	350	13	7,5	5	4
PSL-35	(4×18)	960	19	15	23	14,5
PSL-50 V1	32	350	34	20	20	18
	40		24	14	15	11,5
PSL-50 V2	32	350	21	10	12	8,5
	40		19	7	9,5	6
PSL-50 V3	32	350	22	9	12	8,5
	40		19	7	8	5,5
PSL-50 V2D	32	350	23	10	12	9
	40			6,5	10	6
PSL-55	40	350	23	5,5	7,5	4
		300				
PSL-60	32	500	15	7	10	6
	40	350	19	8,5	10	7,5

Амплитуда пульсаций выходного напряжения драйвера, реализованного по схеме источника тока, практически не зависит от количества светодиодов нагрузки.

Очевидно, что с увеличением числа последовательно соединенных светодиодов нагрузки (работа на верхней границе рабочего диапазона выходных напряжений) значение $K_{\text{по}}$ снижается вследствие снижения доли амплитуды пульсаций выходного тока драйвера, приходящейся на каждый отдельный светодиод.

В таблице 2 представлена сравнительная оценка данных измерений $K_{\text{по}}$, проведенных двумя различными способами — посредством приведенной в настоящей статье методики (без ФНЧ) и люксметром-яркометром-пульсметром типа «Эколайт-02». Измерения проводились с использованием последней модификации драйвера PSL 50-0,36-144/100-1-3 (с пониженным уровнем пульсаций выходного тока) и нагрузки в виде линеек LED-светодиодов (32 шт.) одинаковой цветовой температуры двух различных фирм-производителей — SemiLed и Nichia.

Некоторое снижение уровня $K_{\text{по}}$ по данным измерений, полученных посредством прибора «Эколайт-02», объясняется наличием встроенного ФНЧ с шириной полосы пропускания (по косвенной оценке) порядка 5 кГц.

Результаты практических исследований, проведенных специалистами ООО «НПФ «Плазмаинформ», свидетельствуют о наличии в энергетическом спектре пульсаций выходного

Таблица 2. Сравнительная оценка данных измерений

Фирма-производитель светодиодов	Результаты измерений $K_{\text{по}}$, %	
	По приведенной методике	Прибор «Эколайт-02»
SemiLed	5,31	3,7
Nichia	4,09	2,1

тока исследуемого драйвера и в соответствующем ему спектре пульсаций светового потока оконечного светотехнического устройства значительной доли высокочастотных гармоник ($f \geq 3$ кГц), находящихся вне пределов нормируемого диапазона ($f \leq 300$ Гц) и не оказывающих практического влияния на центральную нервную систему человека.

При этом подтверждается справедливость тезиса о существенном влиянии вариаций количества и параметров светодиодов конкретных фирм-производителей (обусловленных различием вольт-амперных характеристик и марок люминофоров) на светотехнические характеристики оконечного устройства.

В качестве практических рекомендаций разработчикам и производителям полупроводниковой светотехники по снижению уровня $K_{\text{по}}$ целесообразно предложить:

- увеличение числа последовательно соединенных светодиодов нагрузки (реализацию схемно-конструктивных решений, предпо-

лагающих использование драйверов с более высоким выходным напряжением);

- применение наиболее «инерционных» типов светодиодов с длительным временем послесвечения люминофора.

Литература

1. СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение».
2. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».
3. Почему не принимаются меры для снижения пульсации освещенности. НИИ-ОТ. Иваново. http://niiot.su/?option=com_content&view=article&id=46
4. http://itener.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=19:2011-03-22-22-59-22&catid=3:2011-03-22-22-32-45&Itemid=6