

# Пульсация светового потока светодиодов и особенности её измерения и нормирования

С.А. ГЕОРГОБИАНИ, М.Е. КЛЫКОВ<sup>1</sup>, М.В. ЛОБАНОВ

ООО «ВНИСИ», Москва

## Аннотация

Рассмотрены особенности пульсации светового потока светодиодов, обусловленные характеристиками светодиодов и устройств их управления. Показано, что пульсации излучения светильников со светодиодами и с разрядными лампами могут существенно различаться. Вследствие этого делается вывод, что принятые сегодня методы измерения пульсации светового потока и её нормы, разработанные в середине 20 века для освещения разрядными лампами, в ряде случаев не могут быть применимы к освещению светодиодами и требуют переработки.

**Ключевые слова:** светодиоды, пульсация светового потока, стробоскопический эффект, устройства

<sup>1</sup> E-mail: klykov41@mail.ru

управления, линейные стабилизаторы тока, широтно-импульсное регулирование

## Введение

Впервые человечество столкнулось с пульсацией светового потока (ПСП) в конце 19 века в связи с появлением ламп накаливания, питаемых переменным током. Однако в силу тепловой инерционности нитей накала эта ПСП была незначительна и не влияла на зрительное восприятие.

Вопрос ПСП источников света стал актуальным с 1950-х в связи с массовым внедрением разрядных источников света, питаемых переменным током с частотой 50 Гц, с электромагнитным ПРА (ЭМПРА). Из-за малой инерционности разряда и люминофора осциллограмма светового потока разрядной лампы близка по форме

к кривой выпрямленного тока и имеет поэтому значительную переменную составляющую с частотой 100 Гц (рис. 1).

Эта пульсация была сразу замечена из-за двух её вредных влияний: 1) дискомфорт, головные боли и повышенная утомляемость; 2) возможность возникновения оптического эффекта, заключающегося в кажущемся изменении скорости вращения наблюдаемых объектов, вплоть до их остановки или вращения в обратную сторону. В связи с этим в 1950-е гг. светотехниками совместно с врачами был проведён ряд работ по исследованию пульсаций освещённости [1–5]. В итоге были разработаны методы измерения уровня пульсации и установлены её допустимые нормы в зависимости от условий зрительной работы. Важно отметить, что эти методы и нормы были разработаны для пульсаций при частоте питания 50 (60) Гц (рис. 1).

Однако на сегодня опыт показывает, что уровень, форма и частота ПСП СД- источников света могут существенно отличаться от приведённых на рис. 1.

## Особенности пульсации светового потока светодиодов

ПСП источников света определяется двумя факторами: их инерционностью и схемой управления (форма и частота тока).

Инерционность СД определяется временем нарастания его светового потока от 0,1 до 0,9 и спада от 0,9 до 0,1 его номинального значения при подаче и снятии напряжения. У современных СД без люминофора это время составляет от 10 до 50 нс [6]. У белых СД с люминофором оно теоретически (из-за инерционности люминофора) может быть выше. Для определения этого времени нами была проведена оценка инерционности нескольких типов широко распространённых СД. Схема и результаты соответствующих измерений приведены на рис. 2 и 3 и в таблице. Измерения проводились при частоте 20 кГц.

Из таблицы видно, что световой поток СД отстаёт от тока не более чем на 0,2–3,8 мкс. Поэтому на частотах до десятков кГц все СД (и цветные, и белые) можно считать безынерционными.

Рис. 1. Типичные формы тока и светового потока разрядной лампы при работе с ЭМПРА от сети частоты 50 Гц.  $\Phi_{\max}$  и  $\Phi_{\min}$  – максимальное и минимальное мгновенные значения светового потока за период колебаний  $T$ ;  $\Phi_{\text{ср}}$  – среднее значение светового потока за период

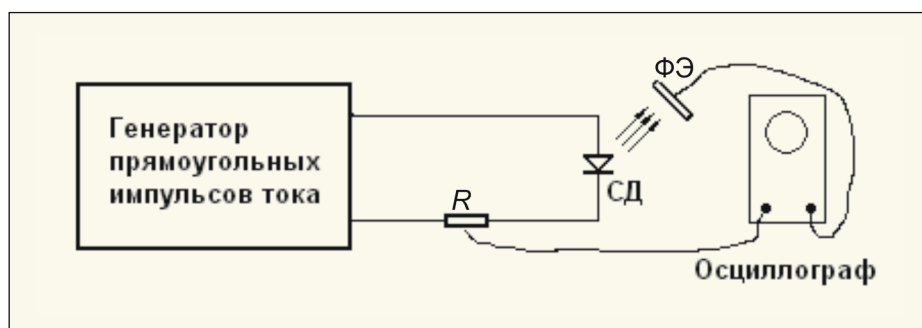
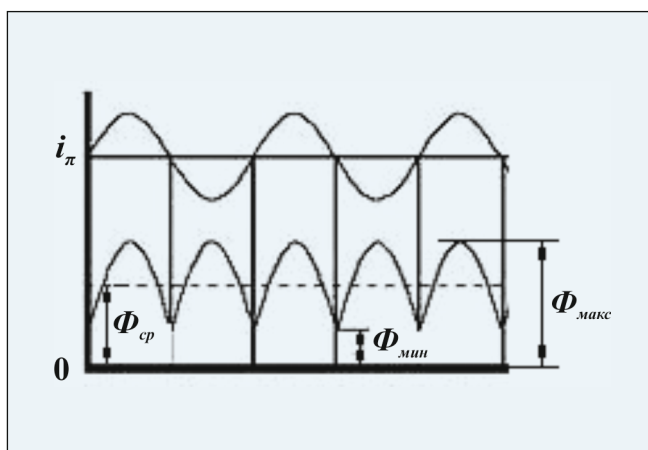


Рис. 2. Схема измерения уровня инерционности СД:

$R$  – измерительный резистор; СД – измеряемый светодиод; ФЭ – кремниевый фотозлемент

Варианты выходного тока наиболее распространённых современных устройств управления СД (и, соответственно, варианты осциллограмм светового потока СД):

- Постоянный ток с пульсацией от долей до нескольких десятков % на частоте 100 Гц (форма тока близка к синусоидальной). Такая форма характерна для нерегулируемых электронных и электромагнитных устройств управления, работающих от сети частоты 50 Гц, и практически совпадает с формой пульсации разрядных источников света с ЭМПРА (рис. 1). Поэтому для их оценки применимы действующие нормы и методы измерения пульсаций.

- Пульсирующий прямоугольный ток с переменным коэффициентом заполнения (рис. 4). Такая форма тока характерна для линейных стабилизаторов, работающих от сети частоты 50 Гц, и электронных устройств управления, регулируемых по методу широтно-импульсной модуляции (ШИМ) и работающих от сети как переменного, так и постоянного токов.

В случае линейных стабилизаторов  $f$  светового потока равна 100 Гц и  $\gamma = 0,7-0,9$ , а – регулируемых по методу ШИМ устройств управления  $f \geq 100$  Гц и  $\gamma = 0,01-1,0$ .

Пульсирующий полусинусоидальный ток с паузами между импульсами (рис. 5). Такая форма характерна для широкого класса СД-модулей вроде «Acrich» (компания *Seoul Semiconductor*), непосредственно подключаемых к сети переменного тока без устройства управления.

Поскольку ПСП по рис. 4 и 5 существенно иные, чем у разрядных источников света с ЭМПРА, то для их оценки не применимы действующие нормы пульсаций.

Приведённая выше оценка особенностей ПСП СД подтверждается работами технических комитетов МКО ТК 3–50 «Показатели качества внутреннего освещения светодиодами» и ТК 1–83 «Визуальные аспекты работы модулированных во времени осветительных систем» и комитета *PAR1789* Института инженеров по электротехнике и электронике (*IEEE*). Большое внимание в этих работах [7–12] уделяется исследованиям влияния глубины и частоты ПСП на комфортность зрительного восприятия и возможность возникновения стробоскопического

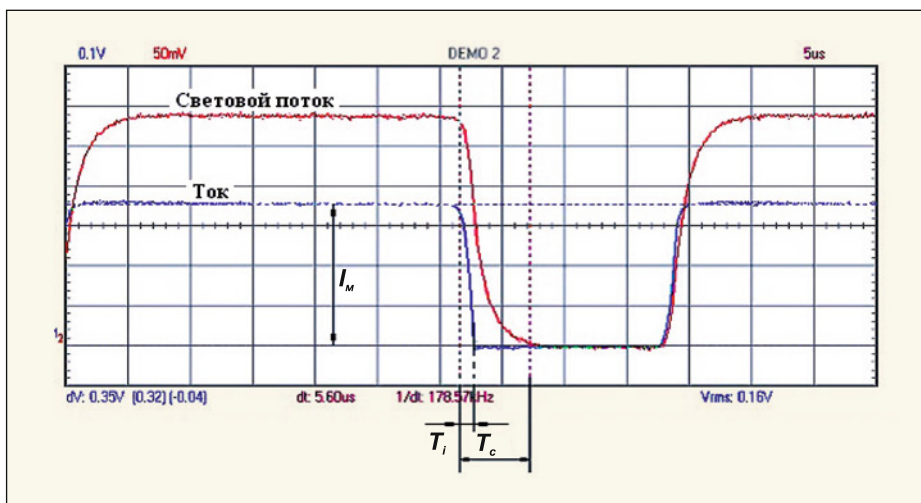


Рис. 3. Осциллограммы тока и светового потока светодиода:

$T_i$  – фронт спада тока;  $I_M$  – амплитуда тока;  $T_c$  – фронт спада светового потока

Рис. 4. Осциллограммы тока (а) и светового потока (б) СД при работе с линейным стабилизатором тока или с регулируемым по методу ШИМ устройством управления:

$T_u$  – длительность импульса тока;  $T$  – период следования импульсов;  $f = 1/T$  – частота следования импульсов;  $\gamma = T_u/T$  – коэффициент заполнения импульсов

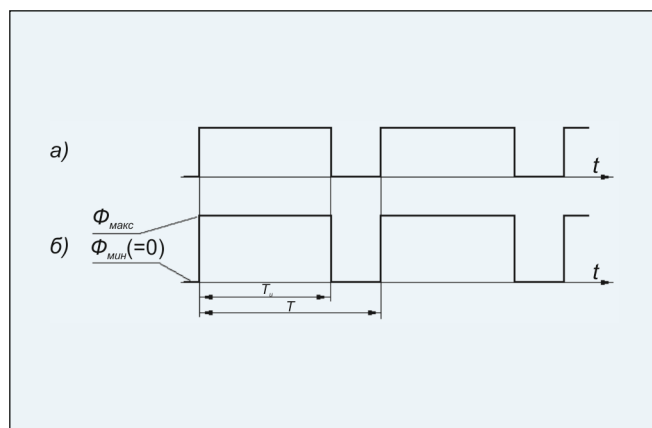
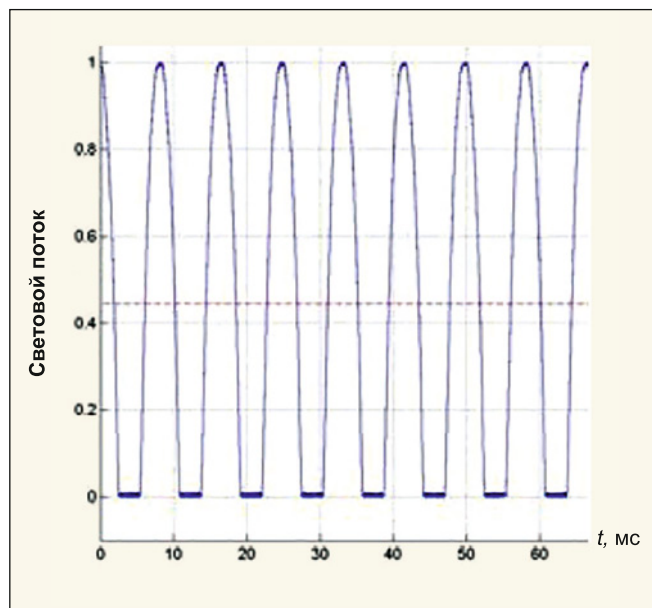


Рис. 5. Характер пульсации светового потока светодиодных модулей «Acrich»



эффекта. Показывается, что последний может проявляться при частотах пульсации до 1000–10000 Гц и отмечается неприменимость существующих методов измерения уровня ПСП к СД-источникам света.

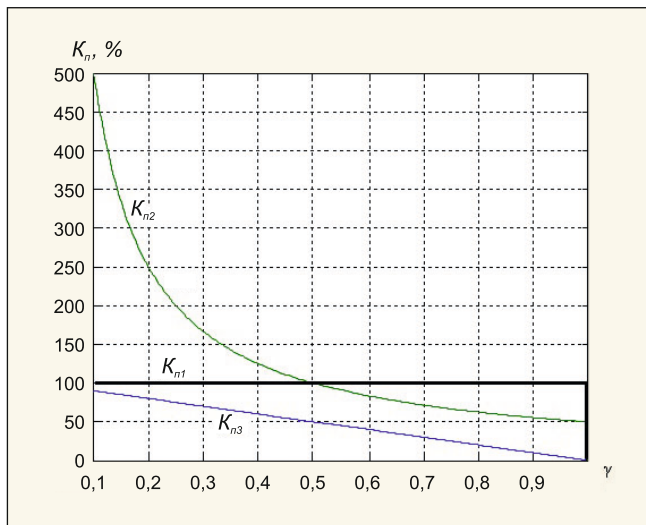
### Особенности измерения пульсации светового потока светодиодов

В настоящее время известны 3 метода измерения коэффициента ПСП.

## Результаты измерений по оценке инерционности светодиодов разных типов

№	Тип СД	$I_m$ , А	$T_i$ , мкс	$T_c$ , мкс
1	Osram «LUW-W5AM»	0,35	1,2	1,5
2	SEOUL «W42182»	0,35	1,2	5,9
3	Nichia «NS2W157ART»	0,075	1	1,6
4	Nichia «STS-DA1-1459»	0,02	1,2	2,2
5	Nichia «NSPR310S» (красный)	0,02	1,2	1,2
6	Nichia «NSPW300DS» (белый)	0,02	1,2	1,2
7	BRIDGELUX «BXRА»	0,3	1,5	5,7
8	SEOUL «KWT801-S»	0,02	1,2	5

Рис. 6. Результаты измерения коэффициента пульсации светового потока ( $K_n$ ), полученные по методам 1–3 при прямоугольной форме тока и изменяющимся от 0,1 до 1 коэффициенте заполнения импульсов  $\gamma$



### Метод 1. Метод отношения амплитуд.

Расчёт коэффициента ПСП – по формуле

$$K_{n1} = [(\Phi_{\max} - \Phi_{\min}) / (\Phi_{\max} + \Phi_{\min})] \cdot 100\%$$

### Метод 2. Метод отношения амплитуд к среднему значению

Расчёт коэффициента ПСП – по формуле

$$K_{n2} = [(\Phi_{\max} - \Phi_{\min}) / 2\Phi_{cp}] \cdot 100\%$$

### Метод 3. Метод средних значений

Расчёт коэффициента ПСП – по формуле

$$K_{n3} = [\Delta\Phi_{cp} / \Phi_{cp}] \cdot 100\%$$

где  $\Delta\Phi_{cp}$  – среднее значение отклонения светового потока за полупериод от среднего значения за период  $\Phi_{cp}$ .

Последний метод предложили Истмэн и Кэмпбелл (1952 г.) и детально рассмотрели Н.Н. Ткачук и Н.А. Тол-

стой [1] как наиболее точно отражающей реакцию глаза на ПСП [2].

При оценке ПСП разрядных ламп, характеризующихся постоянной частотой и близкой к синусоидальной осциллограммой светового потока, все 3 метода дают хорошо скоррелированные между собой результаты. У нас в стране были приняты 1-й и 2-й методы, как наиболее легко реализуемые.

Однако для освещения светодиодами, с его характерной осциллограммой светового потока, заметно отличающейся от синусоидальной и частотой от 100 Гц, все эти методы дают разные результаты. Так, в случае по рис. 5 коэффициенты ПСП, рассчитанные по разным методам таковы:  $K_{n1}=100\%$ ,  $K_{n2}=114\%$  и  $K_{n3}=42\%$ .

Ещё больше расходятся коэффициенты ПСП, рассчитанные по разным методам при прямоугольной форме тока (рис. 6).

Из рис. 6 видно, что 1-й и 2-й методы (а именно они используются сейчас для измерения) дают результа-

ты, противоречащие здравому смыслу (1-й метод вообще не реагирует на изменение формы импульса, а 2-й даёт скачки на краях диапазона изменений  $\gamma$ ). 3-й метод качественно правильно отражает изменение формы, но пользоваться им тоже нельзя, так как корреляция его результатов с принятыми нормами не очевидна и требует проверки.

## Выводы

1. СД при частоте тока до десятков кГц можно считать практически безынерционными элементами, поэтому их ПСП полностью определяются пульсацией выходного тока устройства управления

2. При работе с нерегулируемыми электронными и электромагнитными устройствами управления, работающими от сети частоты 50 Гц, ПСП СД по «форме» и частоте практически совпадают с ПСП разрядных источников света с ЭМПРА. Поэтому в этих случаях для них применимы действующие нормы пульсаций и методы их измерения.

3. ПСП большого класса светильников с СД (с регулируемым методом ШИМ электронным устройством управления, с линейным стабилизатором тока или непосредственно подключаемыми к сети переменного тока без устройства управления) по «форме» и частоте существенно отличаются от ПСП разрядных ламп, поэтому для их измерения и нормирования не применимы действующие методы измерения и нормы. В этих случаях требуется создание новых норм и методов измерения ПСП, для чего необходима совместная работа светотехников и врачей, аналогичная той, которая проводилась в 1950-е гг. для освещения разрядными лампами.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ткачук Н.Н., Толстой Н.А. Прибор для измерения относительной пульсации световых потоков // Светотехника. – 1955. – № 2. – С. 27–29.
2. Луизов А.В. Инерция зрения. – М.: Оборонгиз, 1961. – 249 с.
3. Ильянок В.А., Самсонова В.Г. Влияние пульсирующих источников света на электрическую активность мозга человека // Светотехника. – 1963. – № 5. – С. 1–5.
4. Свиридов Ю.И. Расчёт коэффициента пульсации в осветительных установках с га-



зоразрядными источниками света. – 1967. – № 6. – С. 10–15.

5. *Кроль Ц.И.* К вопросу ограничения колебаний светового потока в промышленных осветительных установках. – 1963. – № 6. – С. 7–13.

6. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б.Айзенберга. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Знак, 2006. – 972 с. 7. *Poplawski M., Miller N.* Exploring flicker in Solid-State Lighting / Documents, IES, poplawski-miller-FINAL. Pdf.

8. *Lehman B.* Flicker and IEEE PAR1789 Recommended Practices of Modulating Current in High Brightness LEDs for Mitigating Health Risks to Viewers / IEEE ECCE paper, 2010.

9. *Lehman B.* Proposing measures of flicker in the low frequencies for lighting applications. 2011 IEEE.

10. Исследование мерцания полупроводниковых систем освещения // Полупроводниковая светотехника. – 2012. – № 3. – С. 58–59.

11. *Арексис Л., Китсинелис С., Циссис Ж.* О пульсациях выпускаемых ламп / Светотехника. – 2012. – № 3. – С. 58–64.

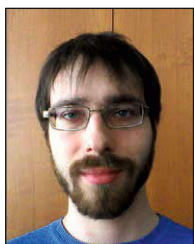
12. *Кнооп М.* Качество освещения светодиодами // Светотехника. – 2014. – № 5. – С. 20–22.



**Георгобиани Сергей Александрович,**  
кандидат техн. наук. Окончил в 1981 г. МЭИ. Зав. лабораторией ПРА ООО «ВНИСИ им. С.И. Вавилова»



**Клыков Михаил Евгеньевич,**  
кандидат техн. наук. Окончил в 1963 г. МЭИ. Ведущий научный сотрудник лаборатории ПРА ООО «ВНИСИ им. С.И. Вавилова»



**Лобанов Михаил Викторович,**  
инженер лаборатории ПРА ООО «ВНИСИ им. С.И. Вавилова»



**XV Российский энергетический форум**  
**Международная выставка**  
**Энергетика БРИКС и ШОС**  
**XXI специализированная выставка**  
**Энергосбережение. Светотехника. Кабель**

20–23 октября 2015 г.

г. Уфа, ул. Менделеева, 158

**ОРГАНИЗАТОРЫ**

Правительство РБ  
Башкирская выставочная компания

**ПОДДЕРЖКА**

Министерство энергетики РФ  
Министерство промышленности и инновационной политики РБ

**СОДЕЙСТВИЕ**

Торгово-промышленной палаты Республики Башкортостан  
ОАО «Башкирская электросетевая компания»  
ООО «Башкирская генерирующая компания»

С 20 по 23 октября 2015 года в столице Республики Башкортостан г. Уфа пройдет XV Российский энергетический форум – один из крупнейших деловых Форумов, рассматривающих проблемы и пути решения основных вопросов большой и малой энергетик.

Мероприятия проводятся при поддержке Министерства энергетики РФ и Министерства промышленности и инновационной политики Республики Башкортостан. Организаторами Форума и выставок выступают Правительство Республики Башкортостан и Башкирская выставочная компания.

Выставка «Энергетика БРИКС ШОС» – проект международного уровня, включенный в Концепцию председательства РФ в межгосударственном объединении БРИКС в 2015–2016 годах и перечень основных мероприятий председательства РФ в БРИКС в 2015–2016 годах.

«Энергосбережение. Светотехника. Кабель» – специализированная выставка, экспозицию которой ежегодно представляют более 150 предприятий из всех регионов России, стран дальнего и ближнего зарубежья.

В работе выставки 2015 года новинки электротехнической и энергетической отрасли представят лидеры отрасли, компа-

нии которые уже не раз оценили высокий экономический эффект от выставки в Уфе: *Schneider Electric* (Москва), *Helukabel* (Москва), ЭКРА (Чебоксары), Свердловский завод трансформаторов тока (Екатеринбург), Ксена (Пермь), Энергосфера (Пермь) и др.

Деловая программа включает в себя пленарное заседание, круглые столы, научно-практические конференции, семинары и презентации участников выставки, и вызывает интерес на международном уровне. Соорганизаторами Деловой программы выступают отраслевые ассоциации и союзы, эксперты отрасли.

Посетители выставок – это заинтересованные в развитии, открытые для контактов и плодотворной работы специалисты. Ежегодно участники выставок отмечают большое количество и качественный состав посетителей.

**Адрес места проведения:**

450080, г. Уфа, ул. Менделеева,  
158, 3 павильон  
Тел./факс: (347) 246–41–77,  
246–41–93, 246–41–80,  
246–41–86, 246–41–95

**Дополнительная информация:**

тел. (347) 246–41–86,  
246–41–77;  
[www.energobvk.ru](http://www.energobvk.ru);  
e-mail: [energo@bvkexpo.ru](mailto:energo@bvkexpo.ru)