

Обоснованный подход к нормативам пульсаций светодиодного освещения

Илья Ошурков (Москва)

Отсутствие ясности в вопросе пульсаций освещённости зачастую приводит к необоснованно завышенным требованиям и препятствует широкому внедрению полупроводниковых светильников. Встречаются различные ограничения: 5% или даже 1% пульсаций, частота выше 300 Гц и т.п. Иногда пульсации превращаются в инструмент «проталкивания» своих источников питания или светильников в конкурсных торгах. А ведь излишне жёсткие требования ведут к росту стоимости, а нужны далеко не всегда. Сложившуюся ситуацию нельзя назвать нормальной, и она требует рассмотрения.

Будем рассматривать внутреннее освещение помещений, где постоянно или временно присутствуют люди. Именно в этом случае считается, что чем меньше пульсации, тем лучше све-

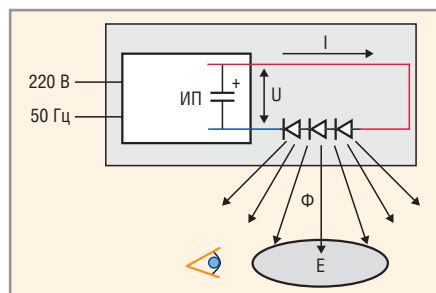


Рис. 1. Обобщённая схема системы освещения

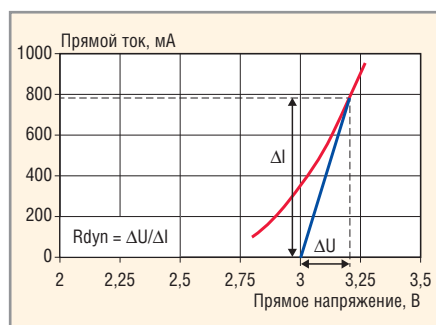


Рис. 2. Графический способ определения динамического сопротивления

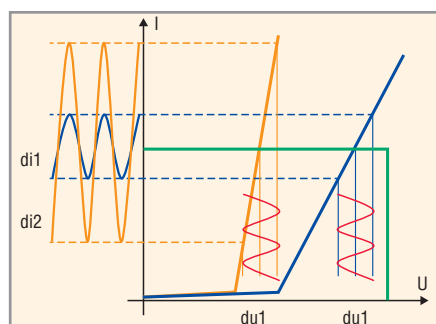


Рис. 3. Реакции тока светодиодов на одинаковое возмущающее воздействие по напряжению при разных нагрузках

тительник. При этом не всегда ясно, о каких пульсациях идёт речь: напряжения на выходе источника питания, тока через светодиоды или светового потока, создаваемого светильником?

Разговор о пульсациях следует начинать с рассмотрения системы освещения. В неё входят питающая электрическая сеть, осветительная установка, освещаемый объект и человек (см. рис. 1). Корпус, рассеиватель, отражатель и линзы следует исключить из рассмотрения, поскольку они не влияют на величину пульсаций, создаваемых светильником. Таким образом, установку можно представить в виде источника питания и светодиодов. Скорее всего, это будет импульсный источник питания с электролитическим конденсатором на выходе, параллельно которому подключаются светодиоды. Если источник питания высокого качества, то можно не обращать внимания на кратковременные сетевые помехи и колебания напряжения – они на выход не проходят. Однако из-за импульсной природы самого источника выходное напряжение U и ток I будут содержать пульсации. Их величина определяется как схемной реализацией источника, так и типом и количеством подключённых светодиодов.

Если на выходе источника питания стоит конденсатор, то производитель может гарантировать только величину пульсаций выходного напряжения. Пульсации тока будут больше. Насколько – зависит от количества и типа подключённых светодиодов. Очень грубо можно считать, что пульсациям напряжения в 4% соответствуют пульсации тока в 8–10%. В то же время именно пульсация тока определяет

пульсацию светового потока Φ осветительной установки.

Чтобы улучшить эту характеристику, придётся ставить на выходе источника питания конденсаторы большей ёмкости или повышать его рабочую частоту/усложнять схемотехнику. Это приведёт к росту стоимости источника питания, а в итоге – и всего светильника. Поэтому смягчение требований к источнику питания по пульсациям выходного напряжения до обоснованных величин позволяет использовать более дешёвые компоненты и/или сократить их число.

Рассмотрим подробнее упомянутую зависимость пульсаций тока светодиодов от пульсаций выходного напряжения. Она определяется динамическим сопротивлением светодиода при номинальных рабочих параметрах. Один из вариантов нахождения динамического сопротивления – графический, посредством дополнительных построений на вольт-амперной характеристике (ВАХ) светодиода (см. рис. 2). В рабочей точке на номинальном токе строится касательная к кривой и находится ΔU – разница между номинальным напряжением и напряжением в точке пересечения касательной с осью абсцисс. Разделив ΔU на ΔI , получим динамическое сопротивление одного светодиода. Чем более полог наклон характеристики, тем больше динамическое сопротивление. Чем круче характеристика, тем оно меньше.

При последовательном соединении светодиодов их сопротивления складываются, наклон кривой становится более пологим. Если светодиоды соединяются параллельно или используются многокристалльные светодиоды, соединённые внутри, их сопротивление будет уменьшаться, и наклон станет более крутым.

Если представить ВАХ светодиода кусочно-линейной функцией, наклон рабочего участка будет определяться суммарным динамическим сопротивлением светодиодной нагрузки источника питания. Если на этом же графике отметить выходную ВАХ источника питания (зелёная кусочно-линейная функция на рисунке 3), то в точке пе-

ресечения с ВАХ светодиода получим рабочую точку.

Представим, что на выходе источника питания возникают пульсации напряжения известной амплитуды dU_1 . Графическим методом из характеристики можно найти реакцию тока на эти пульсации – dI_1 . Если же сопротивление в рабочей точке оказывается меньше (из-за уменьшения количества светодиодов или изменения их типа), то на такое же возмущающее воздействие dU_1 реакция будет более значительной, и пульсации тока (dI_2) возрастут. Следовательно, возрастут и пульсации освещённости. Вывод: чем выше динамическое сопротивление нагрузки, тем ниже пульсации тока и освещённости.

Теперь рассмотрим влияние пульсаций освещённости на человека. Сами пульсации затрагивают два процесса:

1. При рассматривании объектов глаза постоянно совершают крайне малые и очень быстрые движения, называемые саккадами [1]. Пульсации освещения приводят к тому, что саккады сбиваются; их число растёт. Это вызывает перенапряжение глазных мышц и нарушает нормальную работу мозга.

2. Отражённый от рассматриваемого объекта свет попадает на сетчатку, электрические сигналы с которой поступают в мозг. Если свет оказывается пульсирующим, спектр сформированных сигналов меняется, и нормальная электрическая активность мозга нарушается. Это вызывает утомление и снижает концентрацию внимания.

Кроме самого наличия пульсаций, важен такой параметр пульсирующего излучения, как частота. Какую же частоту можно считать приемлемой? Очевидно, что частота ниже 25 Гц заметна для глаз и сильно раздражает. В качестве примера можно привести стробоскопический режим работы в портативных светодиодных фонарях, который служит для привлечения внимания спасателей в чрезвычайных ситуациях. Кроме того, низкие частоты могут спровоцировать у некоторых людей приступ эпилепсии [2, 3].

Можно ли тогда считать приемлемыми пульсации, частота которых выше критической частоты слияния световых мельканий? И какова, собственно, эта критическая частота? Оказывается, она зависит как от метода определения, так

и от испытуемого. По разным данным [4, 5] её величина лежит в пределах 55–70 Гц. Казалось бы, достаточно сделать частоту пульсаций выше – и вопрос исчерпан. Однако это не совсем так.

Рассмотрим подробнее влияние пульсирующего излучения на мозг человека. Этот вопрос активно изучался в 60-х годах прошлого века, когда лампы накаливания стали вытесняться более эффективными люминесцентными лампами. Затем интерес к вопросу несколько снизился, но в начале 90-х на волне разработки новых энергетических стандартов и предписаний возобновился [6]. Наиболее значимые для нас результаты научных работ таковы:

- неразличимые глазом световые пульсации, тем не менее, регистрируются сетчаткой и мозгом [7, 8, 9];
- неразличимые глазом световые пульсации оказывают влияние на саккадические движения глаз [2, 10];
- повышение частоты пульсаций ведёт к снижению усталости глаз и утомляемости [11, 12, 13].

Особо пристального внимания заслуживает работа по выявлению влияния пульсирующих источников света на электрическую активность мозга че-

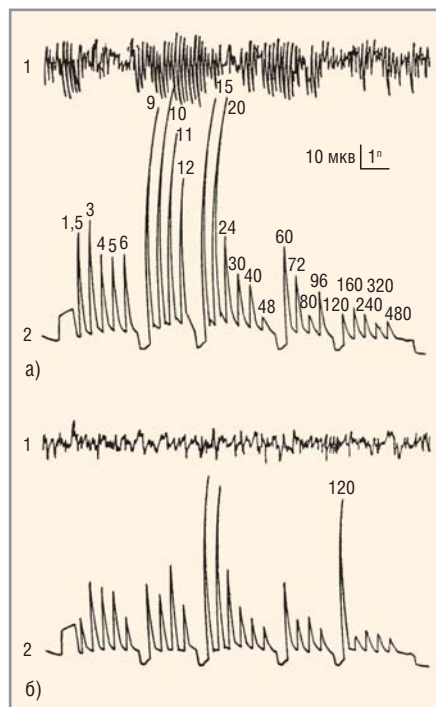


Рис. 4. Фрагмент записи одного из опытов
 а – спектр ЭЭГ в темноте (фон); б – спектр ЭЭГ при освещении светом, мелькающим с частотой 120 Гц; 1 – ЭЭГ затылочной области мозга; 2 – частотный спектр ЭЭГ, выдаваемый анализатором Уолтера

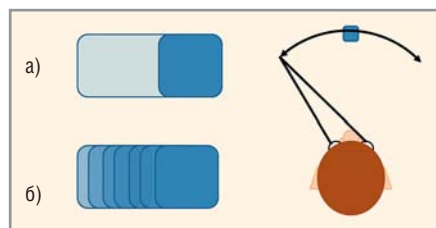


Рис. 5. Иллюстрация стробоскопического эффекта

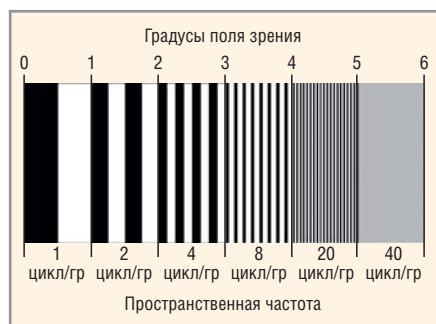


Рис. 6. Предел чувствительности пространственной частоты

ловека [7]. Авторы выдвинули предположение, что отрицательное действие на человека однофазно включённых люминесцентных ламп (с использованием электромагнитного ПРА) может быть обусловлено изменением основной ритмической активности нейронов. В ходе исследования у группы испытуемых во время просмотра светового экрана снимали показания

электрической активности мозга. На экране формировалась освещённость с пульсациями различной формы, амплитуды и частоты.

Снятые электроэнцефалограммы были разложены на спектр. При отсутствии пульсирующего излучения преобладающими частотами были 9–10 и 15–20 Гц. Это так называемые альфа- и тэта-ритмы, свойственные человеческому мозгу в нормальном состоянии. Частоты выше 120 Гц в таком спектре представлены слабо (см. рис. 4а).

Когда же испытуемым были показаны пульсации на световом экране, спектр изменялся следующим образом: альфа-ритм значительно подавлялся, амплитуды присущих ему частот снижались, зато появлялся пик на частоте, равной частоте наблюдаемых световых пульсаций – появлялся навязываемый ритм.

Основные результаты этой работы:

- усвоение навязываемых пульсаций продолжается всё время действия раздражителя;
- пульсации частотой выше 100 Гц начинают влиять на работу мозга уже при 2–3% глубине;
- глубина пульсаций более 20% и более даёт точно такой же эффект, как и 100% пульсации;
- пульсации с частотой выше 300 Гц не оказывают влияния на электрическую активность мозга;
- на частоте 100 Гц нормальная работа мозга сохраняется до глубины пульсаций в 5–8%;
- мозг способен усваивать не одну, а до четырёх частот раздражающего воздействия одновременно. Именно с этим связано высокое требование к пульсациям освещения в местах, где люди работают за компьютером. В таких помещениях на работу мозга влияет и пульсирующее излучение монитора, поэтому пульсацию света надо минимизировать.

Работа [7] стала основополагающей при последующем создании различных нормативных документов. Именно отсюда происходят нормативы 5% и 300 Гц, о которых мы периодически слышим.

Можно ли теперь считать приемлемым, если пульсации светильника имеют частоту выше 300 Гц? В общем-то да. Но есть ещё несколько нюансов.

Первое: нужно учитывать, что рабочие места с нашими светильниками (и входящими в их состав источниками питания) будут подвергнуты испытанию. При проведении контроля пара-

метров световой среды на рабочих местах используют методические указания Минтруда и Минздрава РФ: МУ ОТ РМ 01-98/ МУ 2.2.4.706-98 «Оценка освещения рабочих мест» и Р 2.2.2006-05 «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда». Хотя, согласно этим документам, оценка должна проводиться только для газоразрядных ламп, на практике она применяется и для светодиодных светильников. И если в осветительной установке используется источник питания с пульсациями 350 Гц и амплитудой, скажем, 10%, то вашу осветительную установку забракует и скажут, что вы – плохой производитель, несмотря на то, что производимые ею пульсации освещённости не влияют на мозг. Придётся доказывать неправоту такой оценки.

Чтобы избежать проблем, можно обратить внимание на следующий факт. Оценка освещённости проводится с помощью сертифицированных приборов – люксметров-пульсометров. Чувствительность этих приборов неодинакова для различных частот. Частотный предел чувствительности лежит в районе 1–2 кГц. Чем выше будет частота пульсаций тока светодиодов, тем ниже будут показания пульсометра (относительно реальных значений).

Второй нюанс – стробоскопический эффект. На производствах он опасен тем, что вращающиеся предметы кажутся неподвижными. В офисном помещении стробоскопический эффект не несёт такой опасности, но вызывает дискомфорт. Если объект освещается источником света без пульсаций, то при быстром переводе взгляда он будет выглядеть непрерывным (см. рис. 5а). Если освещение пульсирует, то вместо одного объекта мы увидим последовательность контрастных границ этого объекта (см. рис. 5б). Количество таких контрастных границ на градус поля зрения называется пространственной частотой.

Существует предел того, сколько подобных границ может различить человек. На рисунке б представлены различные пространственные частоты при 100% контрастности границ, т.е. когда мы рассматриваем белый объект на чёрном фоне. В этих условиях при превышении величины 30 границ на градус человек перестаёт воспринимать границы – вместо этого он видит однородное поле, как при освещении светом без пульсаций.

Таблица. Требования к коэффициенту пульсаций освещённости для различных типов работ и помещений

Документ	Коэффициент пульсаций, %	Комментарий
СП 52.13330.2011	10	Зрительная работа наивысшей точности, объект различения < 0,15 мм (пром. предприятия)
	10	Очень высокая точность работ, объект различения от 0,15 до 0,3 мм (жилые, общественные и административно-бытовые здания)
	10	Для I–III разрядов зрительных (производственные помещения)
	10	На рабочих поверхностях (производственные и складские здания)
	100	Помещения с периодическим пребыванием людей при отсутствии в них условий для возникновения стробоскопического эффекта (производственные и складские здания)
	10	В помещениях, где возможно возникновение стробоскопического эффекта (производственные и складские здания)
	10	Жилые, общественные и вспомогательные здания
СП 2.2.2.1327-03	5	Работа с ЭВМ
СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03	0	Общественные и жилые здания (группа 1)
	20	Общественные и жилые здания (группа 2)
СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03	5*	Работа с ЭВМ

* Указанный параметр, подробно описанный в статье, вызывает неоднозначное толкование

Существуют рекомендации институтов инженеров электротехники и электроники IEEE PAR1789, в которых приводится расчёт наиболее приемлемой частоты пульсаций: если взять критическую пространственную частоту и учесть, что человек способен совершить изменение угла обзора на 180° градусов за одну секунду, получим $180^\circ \times 30 \text{ циклов}/^\circ = 5,4 \text{ кГц}$. Если осветительная установка будет освещать объект с пульсациями такой частоты, то они не будут регистрироваться мозгом и не повлияют на зрение – получим очень комфортное освещение. Однако следует учесть, что этот расчёт приблизительный, и для движущихся объектов он не подходит.

Проанализируем действующие нормативные акты в области освещения, касающиеся пульсаций освещённости:

1. СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение».
2. СП 2.2.2.1327-03 «Гигиенические требования к организации технологических процессов, производственному оборудованию и рабочему инструменту».
3. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий».
4. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».

Самые жёсткие требования из этих документов сведены в таблицу. Из неё видно, что для промышленных предприятий и зрительных работ высшей степени точности достаточны пульса-

ций освещённости не более 10%. То же требуется для жилых, общественных и бытовых зданий. Если же вы хотите осветить, например, склад, и в нём нет станков – можете вообще забыть про ограничения пульсаций.

Только в двух случаях для помещений с ЭВМ пульсации должны быть менее 5%. В первом случае требование документа СП 2.2.2.1327-03 совершенно справедливо: как мы уже говорили, две пульсации для мозга намного хуже, чем одна. Во втором случае (для СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03) имеем следующее:

- классификатор 2.4 указывает на то, что этот документ относится только к гигиене детей и подростков;
- в самом документе нет определения коэффициента пульсации: не указано, о каких пульсациях идёт речь. Подведем итоги:
- пульсации освещённости определяют состояние здоровья человека;
- пульсации освещённости полностью определены пульсациями тока через светодиоды;
- в большинстве источников питания для светодиодов производитель может гарантировать только уровень пульсаций выходного напряжения;
- пульсации тока через светодиоды не равны пульсациям выходного напряжения источника питания светодиодов. Они больше, и зависят от типа светодиодов и их соединения;
- пульсации освещённости с частотой выше 300 Гц на человека не влияют;
- пульсации освещённости на частоте 100 Гц влияют на человека. Приемлемый уровень пульсаций на этой частоте – не выше 5%;

- обеспечивать уровень пульсаций не выше 5% нужно только в помещениях с ЭВМ, чтобы снизить вредное воздействие на мозг и глаза;
- для всех остальных типов помещений пульсации освещённости должны быть ограничены на уровне 10–20%;
- требование к уровню пульсаций освещённости менее 1% не обосновано, не подтверждено нормативными документами и исследованиями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Физиология зрения. Электронный учебник по курсу физиологии человека и животных, 2012. www.bio.bsu.by/phha/19/19_text.html (актуально на: 16.12.2012).
2. Wilkins A., Nimmo-Smith I., Tait A., McManus C., Della Sala S., Tilley A., Arnold K., Barrie M., Scott S. A neurological basis for visual discomfort // «Brain», 1984, p. 107.
3. Harding G.F.A., Harding P.F. Photosensitive epilepsy and image safety // Applied Ergonomics, 2010, vol. 41.
4. Jobansson A., Sandström M. Sensitivity of the human visual system to amplitude modulated light // Arbetslivsrapport, 2003, № 4.
5. Wilkins A., Veitch J., Leberman B. LED Lighting Flicker and Potential Health Concerns // IEEE Standard PAR1789, Update.
6. Veitch J.A. Lighting quality contributions from biopsychological processes // Journal of the Illuminating Engineering Society, 2001, № 30 (1).
7. Ильянок В.А., Самсонова В.Г. Влияние пульсирующих источников света на электрическую активность мозга человека // Светотехника, 1963, № 5.
8. Greenhouse D.S., Berman S.M., Bailey I.L., Raasch T.W. Human electroretinogram responses to video displays, fluorescent lighting and other frequency sources // Optometry and vision science, vol.6 8, № 8.
9. Eysel U.T., Burandt U. Fluorescent light evokes flicker responses in visual neurons // Vision research, 24 (9).
10. Kennedy A., Murray W.S. The effect of flicker on eye movement control // Quarterly journal of experimental psychology, 1991, 43A (1).
11. Wilkins A., Nimmo-Smith I., Slater A., Bedocs L. Fluorescent lighting headaches and eye-strain // Lighting Research and Technology, 1998, 21.
12. Масёкене К.С. Исследование работоспособности в условиях промышленной осветительной установки на повышенной частоте // Светотехника, 1968, № 8.
13. Масёкене К.С. Зрительная работоспособность при питании ламп током повышенной частоты // Светотехника, 1967, № 10.

