

Перевод: Светлана Сухомлинова | s.suhomlinova@intiled.ru | Елена Белова

# Исследование мерцания полупроводниковых систем освещения

Общепринятый метод управления яркостью светодиодных систем освещения основывается на использовании метода широтно-импульсной модуляции, представляющего собой частое включение и выключение светодиодного источника света с различным коэффициентом заполнения (определяемым как процент времени, в течение которого светодиод включен). Использование этого метода при определенных временных параметрах импульсов может привести к мерцанию светодиодов. Кроме того, некоторые светодиодные системы освещения разработаны для управления непосредственно переменным током, что также может вызвать эффект мерцания.

Существует два основных варианта визуального восприятия мерцания. Оно может ощущаться напрямую при достаточно низкой частоте (менее 100 Гц) циклов включения/выключения. Но даже при частотах, при которых эффект мерцания не может быть ощущаем напрямую, мерцание может восприниматься косвенно за счет стробоскопического эффекта, называемого также эффектом иллюзии или эффектом вращающегося колеса (wagon wheels).

Помимо частоты и коэффициента заполнения на эффект мерцания также влияют:

- глубина модуляции — разница между нижним и верхним уровнями в сигнале (состояния «включено» и «выключено»);
- форма сигнала — быстрое включение и выключение светодиода сигналом практически прямоугольной формы приводит к мгновенной реакции светодиода.

Для оценки способности человеческого глаза воспринимать мерцание напрямую и косвенно и для того, чтобы оценить влияние эффекта мерцания на уровень комфорта человека, LRC<sup>1</sup> и ASSIST<sup>2</sup> провели лабораторные исследования смоделированных сигналов, порождающих мерцание. Эксперимент проводился с сигналами различной частоты, глубины модуляции, длительности рабочих циклов и формы. Различные цветовые температуры также подверглись сравнению. За первичными результатами исследований последовало дальнейшее изучение взаимосвязей между параметрами, на которые влияет источник мерцания света.

## Эксперимент 1. Влияние характеристик мерцания полупроводниковых систем освещения на комфорт, восприятие и распознавание

### Методика

Используя управляемый светодиодный осветительный прибор в лабораторных условиях, 10 участников эксперимента провели визуальную оценку окружающей обстановки в процессе работы за компьютером, глядя непосредственно на светодиодный светильник и на стену лаборатории, всматриваясь туда и обратно между двумя лабораторными зонами, размахивая руками перед источником света (рис. 1). Они также оценили общий уровень комфорта в предоставленных вариантах освещенности со следующими характеристиками мерцания:

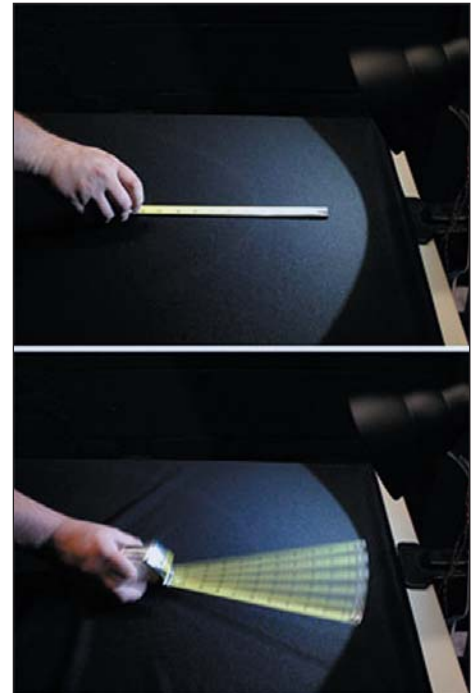
- частота 50, 60, 100, 120 и 300 Гц;
- глубина модуляции 100 и 33%;
- коэффициент заполнения 50 и 10%;
- форма сигнала прямоугольная и синусоидальная;
- цветовая температура 2700 и 4000 К.

### Результаты

Как уже говорилось, мерцание было различимо напрямую (и оценено участниками эксперимента как неприемлемое) на частотах 60 Гц и ниже и было невидимо (и приемлемо) на частоте 100 Гц и выше, при 50% коэффициенте заполнения и 100% глубине модуляции. Косвенное восприятие мерцания вследствие появления стробоскопического эффекта было наиболее сильным в процессе размахивания руками перед источником света, где даже при 300 Гц множественные движения пальцами были значительно ощутимы для большинства людей.

### Заключение

Результаты исследования демонстрируют, что при частотах выше 100 Гц мерцание светодиодного источника света невидимо и не приносит никакого дискомфорта человеку, чего нельзя сказать о стробоскопическом эффекте, который может косвенно ощущаться даже при частотах порядка 300 Гц (наивысшая частота, на которой проводились испытания).



**Рис. 1.** Фотографии, сделанные под мерцающим источником света (120 Гц) с выдержкой 1/15 секунды: а) линейка неподвижна, и стробоскопический эффект отсутствует; б) линейка приводится в движение, вследствие чего на снимке наблюдается стробоскопический эффект (для каждого цикла мерцания появляется свое изображение линейки)

Уменьшение стробоскопического эффекта может достигаться за счет уменьшения глубины модуляции (при условии, что источник света не выключается при мерцании полностью). Для отсутствия визуального дискомфорта следует избегать коэффициентов заполнения менее 10%.

## Эксперимент 2. Определение и восприятие стробоскопических эффектов, вызванных мерцанием

Основываясь на результатах предыдущего исследования, ASSIST и LRC предоставили дополнительные материалы по оценке взаимосвязи частоты и глубины модуляции, а также частоты и мерцания.

<sup>1</sup> Lighting Research Center — научно-исследовательский центр по изучению различных аспектов освещения при Политехническом институте Ренсселера (Rensselaer Polytechnic Institute, RPI), г. Трой, шт. Нью-Йорк.

<sup>2</sup> Alliance for Solid-State Illumination Systems and Technologies — группа по изучению твердотельных осветительных систем и технологий под руководством исследовательского центра по вопросам освещения, входящего в состав Политехнического института Ренсселера.



**Рис. 2.** Фотография тестовой лаборатории ASSIST, в которой проводились эксперименты с мерцанием: рабочее место и светодиодный осветительный прибор

**Методика**

В эксперименте по оценке восприятия и выявления стробоскопического эффекта, вызванного мерцающим источником света, также приняли участие 10 человек. Эксперимент проводился в темной комнате без окон (рис. 2). Использовались те же экспериментальные установки и приборы, что и в эксперименте № 1. Участники располагались за рабочим местом, оснащенным светодиодным осветительным прибором, и давали оценку 20 комбинациям частоты и мерцания, испытывая их в произвольном порядке:

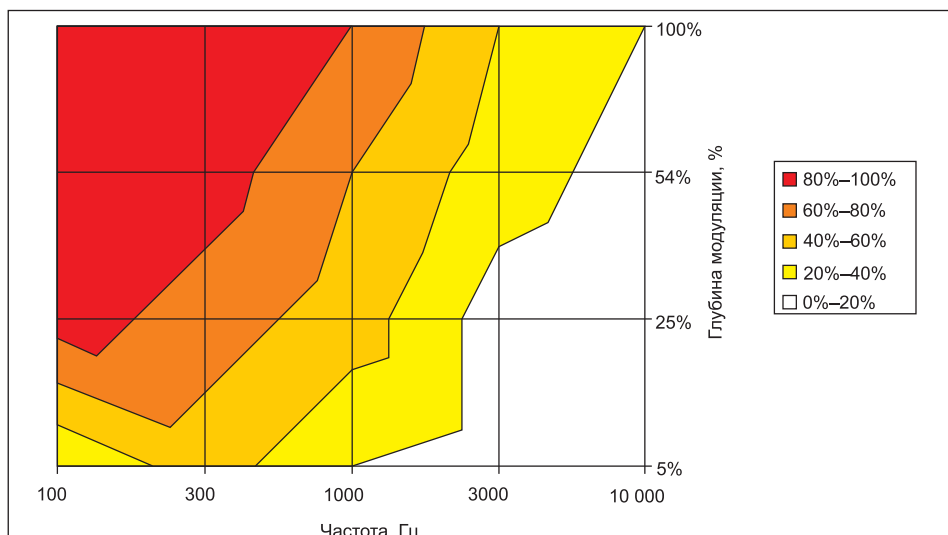
- частота 100, 300, 1000, 3000 и 10 000 Гц;
- глубина модуляции 100, 54, 25 или 5%.

При каждой комбинации условий испытуемых просили размахивать перед источником света пластиковой палочкой и сообщать об увиденных стробоскопических эффектах или мерцании. При выявлении стробоскопического эффекта участники эксперимента должны были оценить допустимость его восприятия по шкале от -2 (совершенно неприемлемый) до +2 (абсолютно приемлемый).

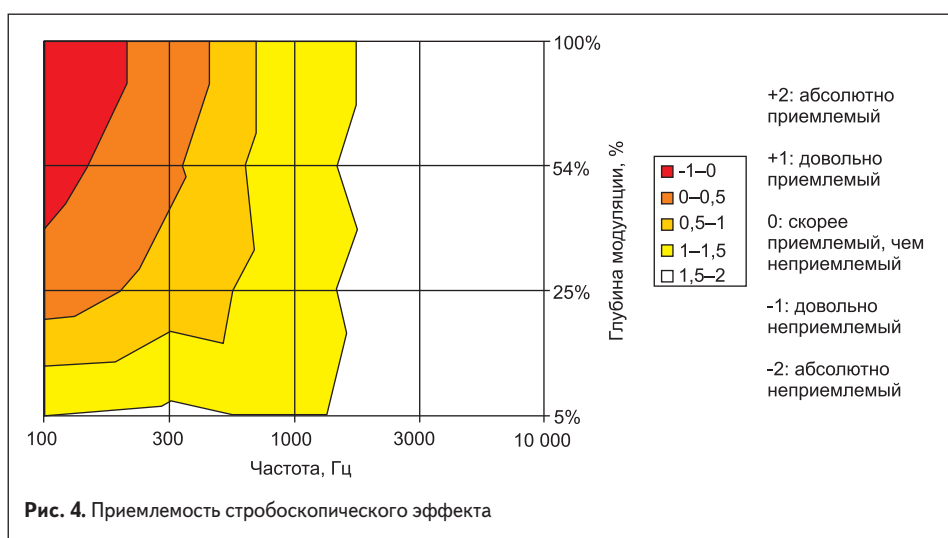
Коэффициент заполнения 50%; для других показателей мерцания минимальная и максимальная яркость составляли 50% периода, форма колебаний сигнала (прямоугольная) и цветовая температура (4000 К) поддерживались постоянными для всех испытуемых комбинаций.

**Результаты**

Приведенные графики демонстрируют результаты по средним значениям показателей «видимости» (рис. 3) и «приемлемости» (рис. 4) мерцания источника света в зависимости от частоты и глубины модуляции.



**Рис. 3.** Определение стробоскопического эффекта



**Рис. 4.** Приемлемость стробоскопического эффекта

**Заключение**

Результаты исследования показали, что непосредственное восприятие стробоскопического эффекта при мерцании находится под влиянием и частоты, и величины модуляции мерцания. Хотя общие тенденции сходны, «видимость» и «приемлемость» отличаются одним существенным моментом. Когда частота мерцания была порядка 1000 Гц и выше, различия в модуляции не влияли на визуальное восприятие, но величина модуляции имела большое значение для выявления стробоскопического

эффекта. Иными словами, многие испытуемые, определив наличие стробоскопического эффекта, не характеризовали при этом эффект мерцания как неприемлемый для восприятия. Эти результаты могут быть особенно полезны для проектирования полупроводниковых систем освещения, во многих из которых используются метод ШИМ и другие способы диммирования.

Оригинал статьи опубликован на портале [www.lightingresearch.org](http://www.lightingresearch.org)