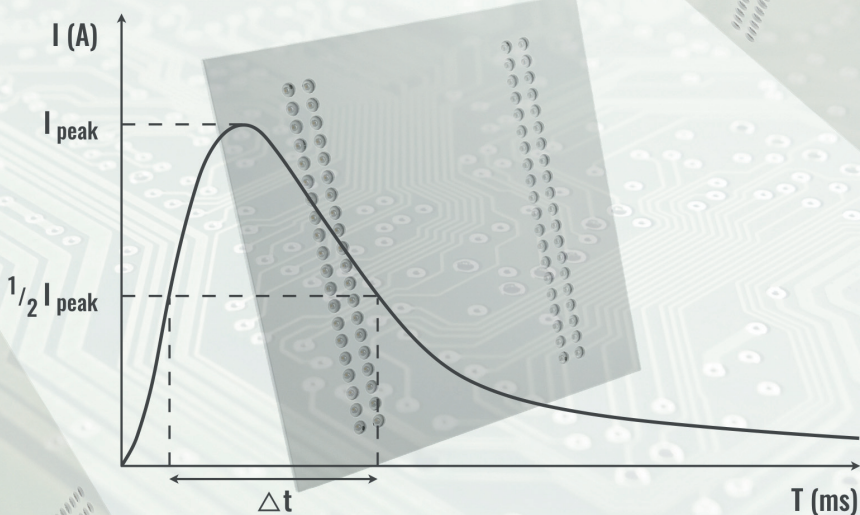


Анатолий Абрамов | Александр Богданов | Андрей Данилко | Петр Дмитриев | Александр Карев | Андрей Степанов

Электрические характеристики ОП со светодиодными источниками света при включении и требования к устройствам защиты сети электропитания

➔ Проблема возникновения импульсов пускового тока электротехнических и электронных устройств всегда создавала определенные сложности при эксплуатации. С приходом светодиодных источников света и полупроводниковых конвертеров пусковые токи ярко проявили себя и в светотехнической отрасли. Тревога и волнение охватили не только проектировщиков и инсталляторов светотехнических установок, но и Правительство РФ, выпустившее постановление с ограничениями данного параметра. В статье рассмотрены особенности анализа характеристик импульса пускового тока светодиодных светильников, оценки его влияния на параметры устройств защиты сети электропитания и предложен алгоритм расчета допустимого количества светильников для подключения к тому или иному автоматическому выключателю.



Во время включения осветительного прибора (ОП) со светодиодными источниками света в его электрической схеме происходят следующие переходные процессы:

- зарядка емкостных элементов входных фильтров драйвера при подаче напряжения (длительность менее 1 мс);
- запуск схемы драйвера (десятки мс);
- стабилизация тока светового LED-модуля (до 0,5 с).

При включении ОП данные процессы сопровождаются серией импульсов потребляемого тока и обуславливают кратковременное увеличение входного тока ОП по сравнению с рабочим режимом.

На рис. 1 [1] приведена зависимость изменения входного тока светодиодного светильника во время включения и выделены четыре фазы: 1 — момент подачи напряжения на вход схемы, сопровождающийся импульсом тока, зарядкой элементов входного каскада и элементов внутренних каскадов; 2 — включение в работу схемы драйвера в целом и зарядка элементов внутренних каскадов; 3 (примерно 0,5 с) — включение LED-кластера; 4 — установившийся ток рабочего режима светильника.

Пусковой ток ОП со светодиодными источниками света — это токовый импульс или импульсы фиксированной длительности с амплитудными значениями, многократно превышающими величину рабочего тока, возникающие при включении ОП в сеть электропитания.

На практике даже маломощные светодиодные лампы могут создавать значительные пусковые токи (рис. 2), кратностью до 300 раз!

На величину пускового тока влияет момент включения ОП, соответствующий фазе изменения напряжения сети питания. Пусковой ток будет максимален в случае включения на максимуме напряжения и минимален — при включении в зоне перехода через нулевое значение (рис. 3).

Параметры пускового процесса ОП (особенно при групповом подключении ОП в составе осветительных установок, (ОУ)) определяют требования как к исполнению схемотехнического решения драйвера, так и к системам электроснабжения, управления, учета электропотребления, устройствам защиты и др. На практике требуется количественное описание

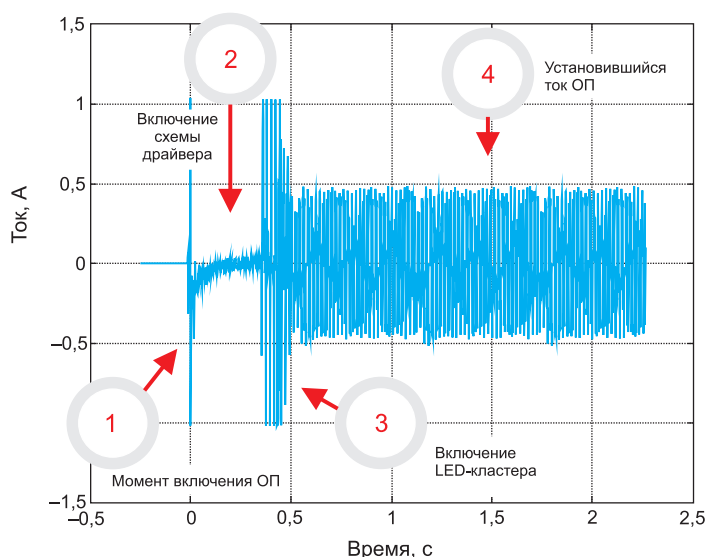


Рис. 1. Изменение мгновенных значений тока в процессе включения ОП

пускового процесса в формате, удобном для использования потребителем. А именно, чтобы определить при электротехническом проектировании осветительной установки, сработает или не сработает предохранитель или автоматический выключатель при возникновении заданного числа таких токовых импульсов [2, 3] от одного или совокупности светильников.

Как известно [4], работа автоматического выключателя определяется двумя механизмами срабатывания расцепителей: тепловым и электромагнитным. Такая комбинация позволяет отслеживать достаточно длительные, но не мгновенные превышения тока (тепловой) и резкое значительное возрастание тока (электромагнитный). В итоге правильно выбранный автоматический выключатель,

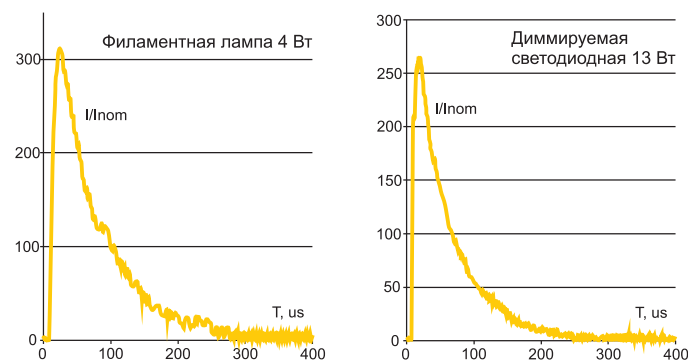


Рис. 2. Кратность амплитудного значения импульса тока (I) по отношению к рабочему току (I_{nom}) при включении LED-ламп

предохранитель, с одной стороны, обеспечивает отсутствие ложных срабатываний, с другой — защищает сеть в случае аварийной ситуации. Для правильного выбора типа защитного устройства следует знать параметры возможных импульсов тока перегрузки, в том числе и во время включения ОП, а именно величину амплитуды токового импульса, его длительность и форму.

Для количественной оценки влияния импульса пускового тока светодиодного светильника следует рассматривать оба типа его воздействия на механизм автоматического выключателя: тепловой и электромагнитный. В качестве примера рассмотрим пусковой импульс, в составе которого имеется и «кратковременный» начальный импульс (менее 100 мкс), формирующий электромагнитное воздействие, и достаточно длительный основной «хвост», определяющий тепловое воздействие (рис. 4).

Тепловое воздействие тока импульса на элемент электроустановки оценивается при помощи условной величины — интеграла Джоуля:

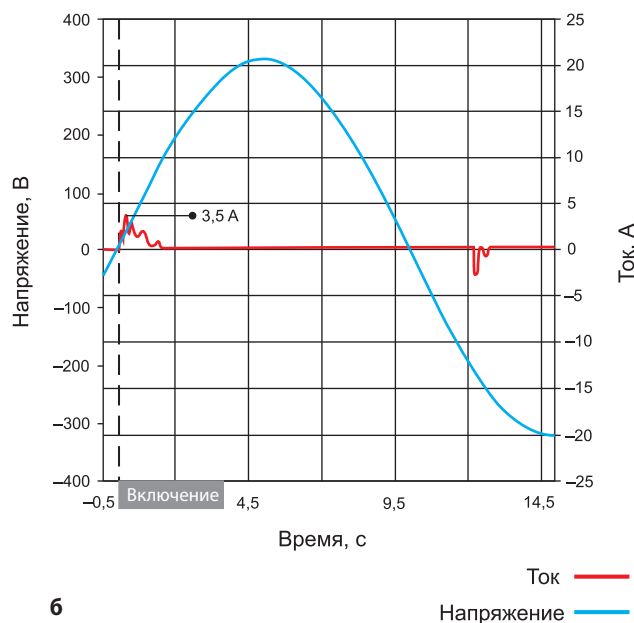
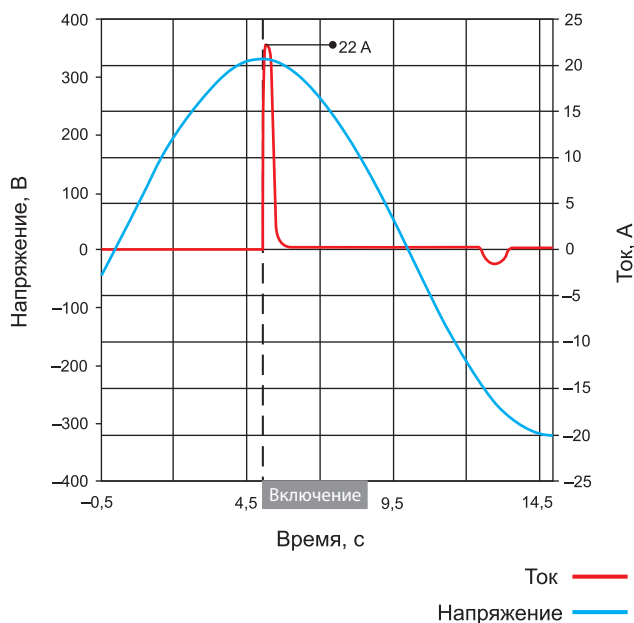


Рис. 3. Изменение параметров импульса пускового тока в зависимости от момента включения ОП: а) пусковой ток амплитудой 22 А при включении ОП в зоне максимальных значений напряжения; б) пусковой ток амплитудой 3,5 А при включении ОП в зоне минимальных значений напряжения

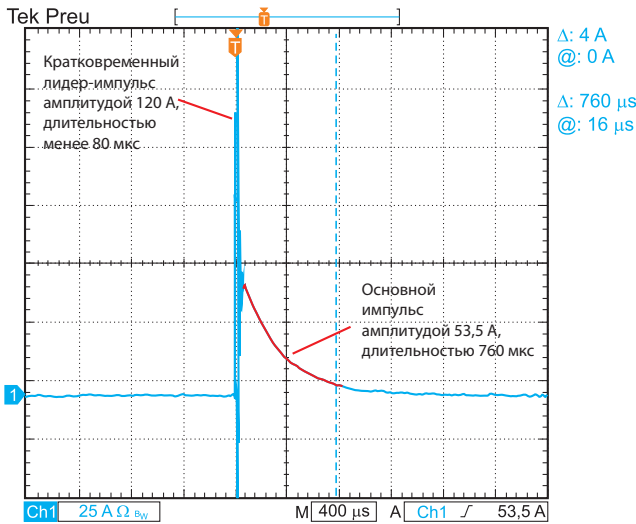


Рис. 4. Осциллограмма мгновенных значений пускового тока драйвера светодиодного светильника с комбинированной структурой импульса [5]

$$E_I = \int_{t_0}^{t_1} i^2 dt.$$

Интеграл Джоуля E_I — величина, численно равная интегралу от квадрата амплитудного значения тока импульса (i) по времени (t) в пределах длительности импульса ($t_0 — t_1$) (A^2c).

Основной импульс, показанный на рис. 4, имеет характерную форму с практически вертикальным стартовым фронтом и затухающим правым (выделен красным цветом). Его амплитудное значение составляет 53,5 А, а длительность 760 мкс.

Для этого характерного случая формы импульса пускового тока интеграл Джоуля можно описать следующим образом:

$$E_I = I_t^2 \Delta t,$$

где I_t — мгновенное максимальное значение импульса тока ОП, возникающего при включении, А; Δt — длительность импульса пускового тока, измеренная на уровне половины амплитудного значения, с.

Соответственно, значение интеграла Джоуля для этой части импульса можно вычислить следующим образом:

$$E_I = I_t^2 \Delta t = 53,5^2 \times 0,00076/2 = 1,1 A^2c.$$

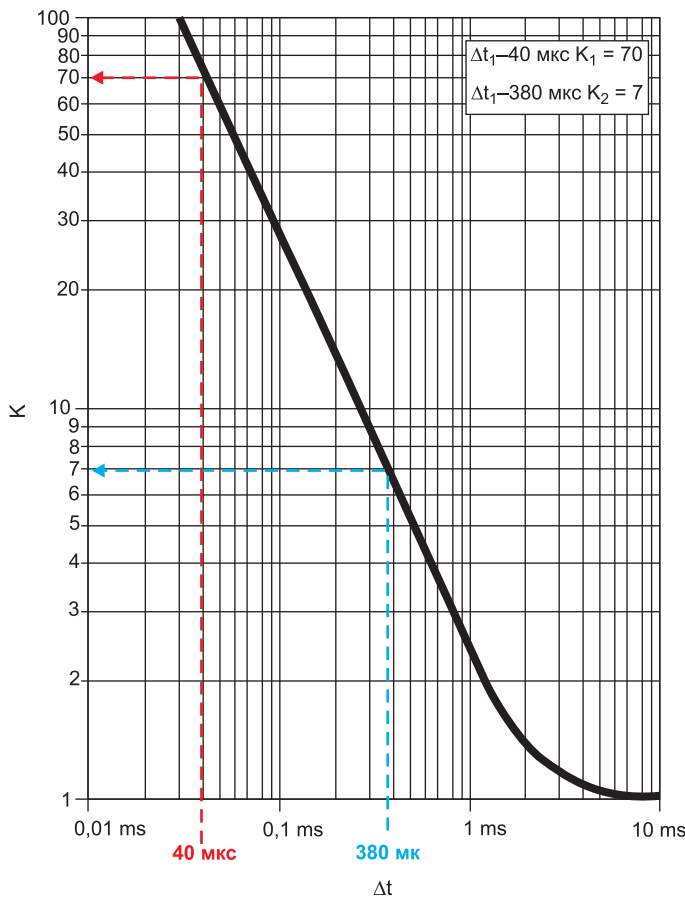


Рис. 5. Поправочный «коэффициент АВВ» — K для определения мгновенных значений тока срабатывания автоматического выключателя при малых длительностях импульса тока [6]

Электромагнитное воздействие тока импульса на элемент автоматического выключателя оценим при помощи метода, предложенного специалистами компании АВВ [5, 6]. Для оценки такого воздействия рекомендовано интерпретировать характеристики кратковременных (менее 5 мс) импульсов при помощи поправочного коэффициента и приведения их к «нормированному значению пускового тока — I_r », измеряемому в амперах. Значение поправочного коэффициента можно определить на основании его зависимости от продолжительности длительности импульса, приведенной на рис. 5.

Кроме этого, следует учесть еще один коэффициент (N) [6], характеризующий параметры срабатывания автоматов различных категорий. Так, для автоматов категории В — $N = 3$; для автоматов категории С — $N = 5$; для автоматов категории D — $N = 10$; для автоматов категории К — $N = 10$.

Нормированное значение величины пускового тока определяется делением амплитудного значения импульса на поправочный коэффициент K с учетом коэффициента N :

$$I_r = \frac{I_t}{K \times N}.$$

Применим данный метод к импульсам, показанным на рис. 4. Определим значение коэффициента K для лидер-импульса длительностью 80 мкс. Значение длительности на уровне полуамплитуды импульса — 40 мкс, значение $K_1 = 70$ (красный пунктир на рис. 5).

При работе с автоматом защиты категории В ($N = 3$) нормированное значение величины пускового тока для лидер-импульса равно $I_{r1} = 120/(70 \times 3) = 0,6 A$.

Для основного импульса длительностью 760 мкс, при длительности на уровне полуамплитуды импульса 380 мкс значение $K_2 = 7$ (синий пунктир на рис. 5). В этом случае нормированное значение величины пускового тока для основного импульса равно:

$$I_{r2} = 53,5 / (7 \times 3) = 2,5 \text{ А.}$$

В данном случае электромагнитное воздействие тока импульса на элемент автоматического выключателя следует оценивать по нормированному значению большей величины $I_{r2} = 2,5 \text{ А}$, сформированному основным импульсом. Соответственно, влиянием кратковременного лидер-импульса можно пренебречь.

На основании изложенного вести оценку параметров автоматического выключателя, способного выдерживать пусковые токи данного светильника, будем по следующим параметрам:

- Pt — кривая, дающая максимальное значение Pt как функцию ожидаемого тока в заданных условиях эксплуатации;
- ток мгновенного расцепления — минимальное значение тока, вызывающее автоматическое срабатывание выключателя без преднамеренной выдержки времени.

Соответственно, для обеспечения надежной работы светильника в составе электроустановки необходимо применить защитное устройство, характеристики срабатывания которого больше, чем полученные значения: интеграл Джоуля $Pt = 1,1 \text{ А}^2\text{с}$ и ток мгновенного расцепления $I_t = 2,5 \text{ А}$.

В качестве примера определим максимально возможное количество ОП (M_1) с рассмотренными пусковыми характеристиками для подключения к одному автомату АВВ серии S200 B16 с ограничением удельной пропускаемой энергии, равной $35,156 \text{ А}^2\text{с}$ [6].

Значение интеграла Джоуля для пускового импульса ОП равно $E_t = 1,1 \text{ А}^2\text{с}$, соответственно, допустимое количество ОП составит $M_1 = 35,2 / 1,1 = 32$ шт.

Теперь оценим этот параметр по ограничению электромагнитного воздействия, то есть по току мгновенного расцепления. Для автомата АВВ серии S200 B16 с током мгновенного расцепления 48 А [6] максимальное количество ОП с нормированным значением пускового тока $2,5 \text{ А}$ составит $M_2 = 48 / 2,5 = 19$ шт.

В итоге следует выбрать допустимое количество ОП для подключения к одному автомату как меньшее из M_1 и M_2 . Получаем: допустимое количество ОП не более 19 шт.

Необходимо помнить, что при групповом включении светильников с одним устройством защиты пусковые импульсы каждого ОП складываются, при этом возрастает амплитуда и длительность суммарного импульса тока, проходящего через устройство при включении ОУ.

На практике существуют приемы для увеличения количества ОП при использовании одного устройства защиты, такие как:

- замена автомата на автомат с бóльшим значением номинального тока срабатывания;
- применение автомата менее чувствительной категории вместо выбранного изначально;
- использование в качестве устройства защиты интеллектуального реле, контактор которого активируется при переходе напряжения питания через ноль.

В заключение отметим, что требования к устройствам защиты сети электропитания ОУ на базе светодиодных ОП следует формировать с учетом пусковых характеристик

каждого ОП. Эти характеристики должны быть представлены производителем осветительного прибора в виде как минимум двух параметров:

- I_t — мгновенное максимальное значение импульса тока ОП, возникающего при включении (А);
- Δt — длительность импульса пускового тока, измеренная на уровне половины амплитудного значения (с) или величиной интеграла Джоуля, $I_t^2 \times \Delta t$ ($\text{А}^2\text{с}$). ●

Литература

1. Impact of LED Lighting on Electrical Networks. www.download.schneider-electric.com/files?p_Doc_Ref=998-2095-10-15-14AR0_EN
2. ГОСТ IEC 61009-1-2014 «Выключатели автоматические, срабатывающие от остаточного тока, со встроенной защитой от тока перегрузки, бытовые и аналогичного назначения. Общие правила».
3. ГОСТ IEC 60269-1-2016 «Предохранители плавкие низковольтные. Часть 1. Общие требования».
4. Пищур А. П. Современные автоматические выключатели // Энерго-Инфо. 2012. № 1 (60).
5. Inventronics Circuit Breakers. www.inventronics-co.com/wp-content/uploads/2018/04/Circuit-Breaker-App-Note.pdf
6. Technische Daten System pro M compact Druck Nr. 2CDC 002 001 D0103 ersetzt 2CDC 002 001 D0102. www.abb.de/stotz-kontakt