

Методика измерения пусковых токов в осветительных приборах со светодиодами

А.В. АБРАМОВ, *А.А. БОГДАНОВ, А.В. ДАНИЛКО, П.Б. ДМИТРИЕВ,
**А.В. КАРЕВ, А.В. СТЕПАНОВ

ООО «МГК «Световые Технологии», Москва/СПб
E-mail: bogdanov@interra-led.com*, a.karev@ltcompany.com**

Аннотация

Рассматривается способ разрешения ситуации, сложившейся со вступлением в силу требований к уровню пусковых токов применительно к осветительным приборам (ОП) со светодиодами (СД). На момент создания статьи аттестованная методика объективного измерения пускового тока, как и стандартизированное определение понятия «пусковой ток» в нашей стране отсутствовали. Авторами разработана и практически апробирована методика измерения переходных процессов в момент включения ОП, позволяющая объективно характеризовать его пусковой ток.

Введены соответствующие термины и определения. Систематизированы и описаны переходные процессы, наблюдаемые в ОП в момент включения. Представлен состав и сформулированы требования к испытательному оборудованию для измерения пускового тока. Описан порядок испытаний и последовательность оценки их результата. Показаны особенности анализа импульсов пускового тока и определена точность предлагаемого метода испытаний.

Особое внимание уделено ключевому элементу испытательной установки – блоку синхронизатора запуска, который при испытаниях ОП и измерении параметров пускового тока обеспечивает наиболее критичный вариант включения, а именно включение в момент максимальных значений напряжения питания. Столь строгая фиксация момента включения позволяет минимизировать погрешности измерений и обеспечивать приемлемую воспроизводимость результатов.

Делается вывод, что при условии аттестации предлагаемой методики и включения её в перечень рекомендуемых к использованию, станет возможным определение необходимых параметров импульсов пускового тока ОП, достаточных для рационального

проектирования систем электроснабжения ОУ. Тем самым снимется существующая сегодня неопределённость в вопросе измерения пусковых токов. Кроме того, соблюдая единообразие в подходе, методика позволит сформировать статистику по реальным значениям пусковых токов в системах электропитания ОУ на реальных объектах и уже на её основе установить критерии качества для значений пусковых токов отдельных видов ОП.

Ключевые слова: осветительный прибор, светодиоды, пусковой ток, амплитуда пускового тока, длительность пускового тока, импульс тока, момент включения, переходный процесс, измерительная установка, блок синхронизации запуска, интеграл Джоуля, проектирование систем, системы электропитания осветительных установок.

Введение

Как известно, с 1 января 2020 г. вступили в силу положения второго этапа Постановления Правительства РФ от 10 ноября 2017 г. N1356 «Об утверждении требований к осветительным устройствам и электрическим лампам, используемым в цепях переменного тока в целях освещения» (далее – Постановление) в редакции изменения от 3 ноября 2018 г. по Постановлению Правительства РФ N1312 «О внесении изменений в требования к осветительным устройствам и электрическим лампам, используемым в цепях переменного тока в целях освещения».

Одним из положений Постановления является пункт 27, который гласит: «Пусковой ток светильников на этапе 2 не должен быть более 5-кратного рабочего тока источника питания» (пункт введён Постановлением Правительства РФ от 3 ноября 2018 г. N1312). Именно этот пункт вызвал ожесточённую дискуссию в светотехническом сообществе в течение последующего полугодия.

Не требует доказательств, что пусковой ток – одна из характеристик, влияющих на потребительские свойства ОП, определяя требования к системам энергоснабжения и безопасности при эксплуатации ОУ. Однако, формулировка требований к ограничению пускового тока по пункту 27, такова, что приводит к невозможности применения данного требования на практике по нескольким объективным причинам, а именно:

- в настоящее время отсутствуют стандартизированное описание понятия пускового тока ОП и аттестованная методика определения его значения;

- в пункте 27 говорится об ограничении пускового тока ОП, но на практике импульсы пускового тока имеют сложную конфигурацию и при отсутствии чёткого определения не ясно, какое амплитудное значение должно выбираться за опорное для сравнения с номинальным значением;

- в требовании по пункту 27 никак не оговаривается длительность импульса пускового тока. Однако для электротехнического проектирования сетей электроснабжения ОУ именно сочетание амплитуды и длительности определяет энергетику, исходя из которой должен осуществляться выбор защитных коммутационных устройств;

- обозначенные требования к учёту характеристик пускового тока не рассматривают групповое включение ОП, которое чаще и реализуется на практике. В этом случае наблюдается сложение импульсов пусковых токов при включении ОУ;

- формулировка пункта 27 вводит недопустимо двойное толкование. С одной стороны, оговаривается пусковой ток ОП, а с другой, этот ток ограничивается 5-кратным током источника питания. Это приводит к двум последствиям:

- толкование уровня ограничения теряет конкретность и становится неоднозначным, т.к. в настоящее время существует большой ассортимент ОП с СД, в которых применяется не один источник питания, а несколько;

- не учитывается, что параметры нагрузки, которая может варьироваться в ОП с СД с одним и тем же источником питания, с одной стороны, определяют пусковой ток, а с другой, – рабочий ток источника питания, от которого должен отсчитываться предел пускового тока. При этом тол-

кование уровня ограничения, аналогично предыдущему случаю, теряет конкретность и становится неоднозначным.

Данные факты уже обозначены рядом авторов, которые в своих публикациях подробно рассмотрели соответствующие возможные последствия текущей формулировки пункта 27 Постановления как с технической, так и с социально-экономической точек зрения [1, 2].

Не желая углубляться в причины становления текущей ситуации, авторы считают единственно правильным выходом создание методики измерения переходных процессов в момент включения ОП и утверждение характеристик импульса пускового тока для дальнейшего применения в регламентирующей документации. Описанию этой методики и посвящена данная статья.

1. Методика определения электрических характеристик ОП со светодиодными источниками света во время включения (пуска)

Предлагаемая методика основана на положениях, впервые предложенных Ассоциацией производителей светодиодов и систем на их основе (АПСС) и описанных в п. 9.7 её стандарта СТО.69159079-02-2018, и на момент написания данной статьи уже опробована несколькими компаниями, входящими в АПСС.

В первую очередь, данная методика предназначена для единообразного определения параметров пускового тока и внесения их в эксплуатационную документацию ОП (и, естественно, информирования потребителя). Во вторую очередь, она служит основой формирования объективных требований к параметрам пусковых токов, согласно статистическим данным по испытаниям, и включения полученных так результатов в соответствующие нормативно-правовые акты.

Кроме того, данная методика позволит уже сейчас в технической документации предоставлять потребителям для правильной оценки пусковых характеристик ОУ и подбора устройств защиты и управления следующее:

- величину интеграла Джоуля;
- максимальную высоту пускового импульса и его длительность;

– рекомендации по допустимому максимальному количеству ОП на один автомат защиты самого распространённого типа – например, типа С16.

1.1. Терминология и обозначения

Для дальнейшего описания введём следующую терминологию и обозначения используемых величин:

пусковой ток I_t – мгновенное максимальное значение импульса тока ОП возникающего при включении, А;

длительность пускового тока Δt – длительность импульса пускового тока, измеренная на уровне половины амплитудного значения, мкс;

время t , мс;

условная величина пускового тока I_r – приведённое значение импульса пускового тока длительностью менее 2 мс, определённое с учётом поправочного «коэффициента *ABB*» в зависимости от длительности импульса;

поправочный «коэффициент *ABB*» K – коэффициент, позволяющий корректировать амплитудное значение сверхкоротких импульсов пускового тока (менее 2 мс) для их интерпретации при оценке воздействия на предохранители, автоматические выключатели и др.;

интеграл Джоуля $E_1 = \int_{t_0}^{t_1} i^2 dt$ – условная величина, характеризующая тепловое действие тока на рассматриваемый элемент электроустановки, численно равная интегралу от квадрата значения тока по времени, в пределах длительности импульса.

1.2. Переходные процессы в момент включения и пропускная способность устройств защиты

Отправной точкой в построении методики служит то, что во время включения ОП с СД источниками света

в его электрической схеме идут следующие переходные процессы:

– зарядка емкостных элементов устройства управления (УУ) при подаче напряжения (длительность менее 2 мс);

– запуск схемы УУ (десятки мс);

– время выхода тока СД источника на рабочий режим (до 1,5 с).

Таким образом, при включении ОП может происходить серия импульсов разной длительности и амплитуды. Эти процессы обуславливают кратковременное многократное увеличение входного тока [3].

Параметры пускового процесса ОП (особенно при групповом включении ОП) определяют требования к системам электроснабжения, управления, учёта электропотребления, защиты и др. На практике требуется количественное описание пускового процесса в формате, удобном для использования потребителем. А именно, чтобы определять, сработают или не сработают предохранитель, автомат защиты и др. при возникновении заданного числа таких токовых импульсов [4, 5].

Уровень пропускной способности автоматического выключателя, защищающего сеть от перегрузки, определяется как максимальным амплитудным значением тока (электромагнитная составляющая), так и произведением значений квадрата пускового тока на время его длительности (тепловая составляющая) [6, 7]. Именно эти характеристики: амплитудный ток, его длительность и форма пускового импульса должны определяться для обоснованного выбора предохранителей, автоматических выключателей и др.

На значение пускового тока влияет момент включения ОП, соответствующий фазе изменения напряжения сети питания. Пусковой ток для нагрузок емкостного типа будет максимален в случае включения на максимуме напряжения и минимален при



Рис. 1. Структурная схема измерительной установки

включении в зоне перехода через нулевое значение.

1.3. Условия проведения измерений

Измерения проводят при нормальных климатических условиях последовательно по одному образцу ОП, последовательность выбирают произвольно. Каждое измерение или последовательность соответствующих измерений выполняют с одним рядом условий в пределах заданной для оборудования рабочей обстановки и при номинальном напряжении электропитания, если иные требования не установлены в основополагающих стандартах. В течение испытаний следует проводить мониторинг испытательного напряжения с погрешностью менее 2 %. Отклонения напряжения не должны превышать 2 %. При этом испытания следует проводить на образцах ОП, не подключаемых к электросети в течение минимум 1 ч. За это время происходит полная разрядка емкостных элементов схемы ОП. Для обеспечения точности измерений рекомендуется проводить их на трёх образцах ОП одной модели/артикула.

1.4. Состав и требования к испытательному оборудованию

1.4.1. Для измерения рекомендуется использоваться гальванически развязанный осциллограф с памятью, который может фиксировать величины di/dt с погрешностью не более 10 А/мкс.

1.4.2. При измерении тока должно использоваться разрешение по шкале времени, позволяющее измерять ширину импульса при разных значениях тока, в том числе на уровне половины амплитудного значения.

1.4.3. Измерение характеристик импульса пускового тока должно производиться при включении ОП в момент, соответствующий максимальному значению напряжения питания. Для синхронизации начала измерений с моментом включения ОП следует применять специальное устройство «синхронизатор запуска» – по сути, управляемый коммутационный элемент измерительной установки, рассмотренный ниже, в п. 2.

1.4.4. В ходе испытаний должно проводиться не менее 3 повторных измерений, что гарантирует регистрацию максимальных значений харак-

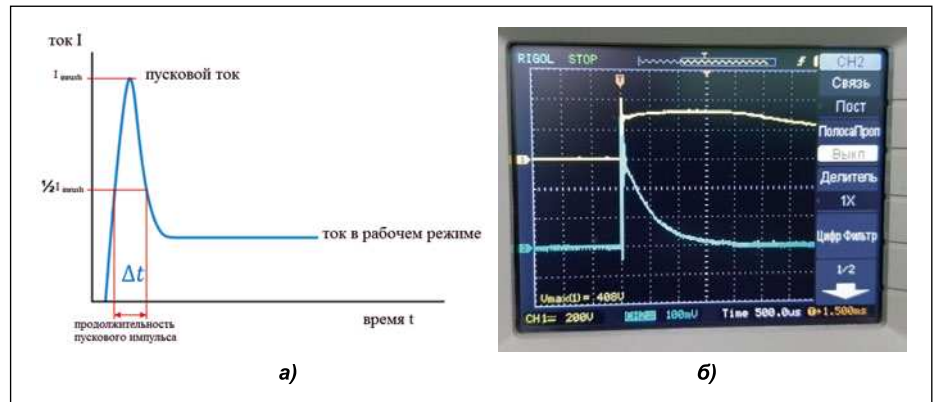


Рис. 2. Импульс пускового тока: а – схематическое представление; б – вид при измерениях

теристик пускового тока. Между повторными измерениями одного образца ОП должно проходить не менее 1 ч, и во время паузы он должен отсоединяться от питающей электросети.

1.5. Структурная схема установки для проведения испытаний и порядок испытаний

Измерения проводятся на установке, структурная схема которой приведена на рис. 1.

Порядок испытаний подразумевает последовательное проведение следующих процедур:

- проверка лабораторных условий;
- проверка правильности функционирования оборудования;
- проведение испытаний;
- оценка результатов испытаний.

1.5.1. Проверка лабораторных условий

Измерения проводятся при нормальных климатических условиях с учётом рекомендаций производителя ОП, приведённых в сопроводительной документации.

Электромагнитные условия в лаборатории должны быть такими, чтобы гарантировать правильное функционирование ОП, измерительных приборов и отсутствие влияния на результаты испытаний.

1.5.2. Проверка правильности функционирования оборудования

Испытательная установка подключается к источнику питания. В качестве источника питания может использоваться стандартная питающая сеть переменного тока напряжением 230 В со

значением внутреннего сопротивления (петли фаза-ноль) не более 0,75 Ом.

Проводится настройка параметров осциллографа в режиме ждущей развёртки с синхронизацией по каналу с блоком «синхронизатор запуска».

ОП подключается к блоку «синхронизатор запуска».

1.5.3. Проведение испытаний

После включения блока «синхронизатор запуска» включение ОП производится автоматически в момент максимального напряжения питающей сети переменного тока. При этом синхронно запускается развёртка осциллографа.

В ходе испытаний на дисплее осциллографа измеряются амплитудные значения пускового тока I_t (А) и его длительность на уровне половины амплитуды для каждого образца. Упрощённый (схематический) и реальный виды пускового тока представлены на рис. 2, а и б соответственно.

1.5.4. Оценка результатов испытаний

На основании полученных результатов рассчитывается параметр, характеризующий тепловое воздействие на предохранитель или энергетику импульса пускового тока – интеграл Джоуля E_1 (А²·с).

Для наиболее характерного случая формы импульса пускового тока для светильников с СД (рис. 2) интеграл Джоуля можно представить как $E_1 = I_t^2 \cdot \Delta t$.

Для импульса произвольной формы требуется провести интегрирование значения квадрата тока по длительности импульса по полученным в результате испытаний данным. На

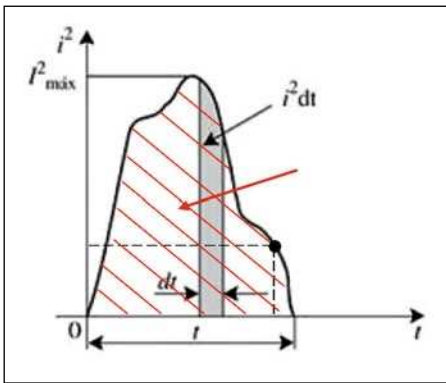


Рис. 3. Графическое представление определения интеграла Джоуля

рис. 3 показан принцип определения интеграла Джоуля, где E_I , оценивается как площадь под кривой, огибающей траекторию мгновенных значений квадрата импульсного тока.

В случае появления при включении ОП нескольких импульсов тока этот результат должен объясняться сложением значений E_I для каждого импульса.

Если ширина импульса оказывается менее 2 мс, то для интерпретации его электромагнитного воздействия определяется I_T .

Для оценки I_T применяется нормирование с учётом поправочного «коэффициента АВВ» K в соответствии с графиком, представленным на рис. 4, и учётом фактора срабатывания автоматов защиты N , характеризующего их электромагнитную чувствительность. В нашем случае для оценки максимального влияния электромагнитной составляющей импульса пускового

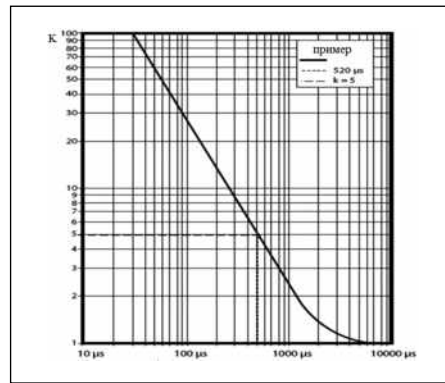


Рис. 4. Зависимость поправочного «коэффициента АВВ» K от длительности импульса тока [8] (для определения мгновенных значений тока срабатывания автоматического выключателя при малых длительностях импульса тока)

тока будем использовать минимальное значение фактора срабатывания для автомата типа «В» ($N = 3$) [8].

Для этого по результатам испытаний устанавливается значение длительности импульса, для которого по рис. 4 определяется значение K . Например, при длительности импульса 500 мкс, согласно рис. 4, $K = 5$. Учитывая, что I_T определяется как $I_T = I_T / (K \cdot N)$, то, например, при измеренном значении $I_T = 40$ А и указанных выше значениях K и N значение I_T составит 2,7 А.

В случае кратковременных импульсов (короче 100 мкс) для интерпретации воздействия пусковых характеристик ОП на предохранители следует использовать I_T .

Так как источник питания ОП является сложным устройством, содер-

жащим несколько элементов с реактивным сопротивлением, то возможно наличие нескольких импульсов со значительными амплитудами, но разной длительности. Поэтому в случае появления при включении ОП не менее двух импульсов тока длительностью менее 2000 мкс, разнесённых во времени, для расчёта выбирается импульс, больший по величине.

В случае, если импульс пускового тока имеет комбинированную структуру: кратковременный импульс (короче 100 мкс) — электромагнитное воздействие — и более длительный импульс — тепловое воздействие, то следует определять и I_T (А) и E_I ($A^2 \cdot c$). В качестве примера, на рис. 5 рассмотрен такой пусковой импульс УУ для ОП с СД,

По действию на предохранитель или автомат защиты, начальный кратковременный импульс длительностью менее 80 мкс и амплитудой $I_T = 120$ А может рассматриваться только как электромагнитное воздействие. В этом случае, для определения I_T воспользуемся рис. 4 и определим K . При длительности импульса 40 мкс и $N = 3$ искомый $K = 70$. И соответственно, $I_T = 120 / (70 \cdot 3) \approx 0,6$ А.

За кратковременным импульсом следует основной импульс традиционной формы с максимальным мгновенным значением $I_T = 53,5$ А и длительностью 760 мкс, и соответственно, для этой части импульса $E_I \approx 53,5^2 \cdot 0,00076 / 2 A^2 \cdot c$ (считая здесь $\Delta t \approx 760 / 2$ мкс).

На основании полученных характеристик пускового импульса тока, возникающего при включении ОП с СД — амплитудное значение тока, длительность и форма импульса — можно определить требуемые характеристики предохранителей или автоматических выключателей. В нашем случае это:

- I^2t -кривая, дающая максимальное значение I^2t как функцию ожидаемого тока в заданных условиях эксплуатации;
- ток мгновенного расцепления — минимальное значение тока, вызывающее автоматическое срабатывание выключателя без преднамеренной выдержки времени.

1.6. Показатели точности измерений

Как показали испытания, проведённые по данной методике в несколь-

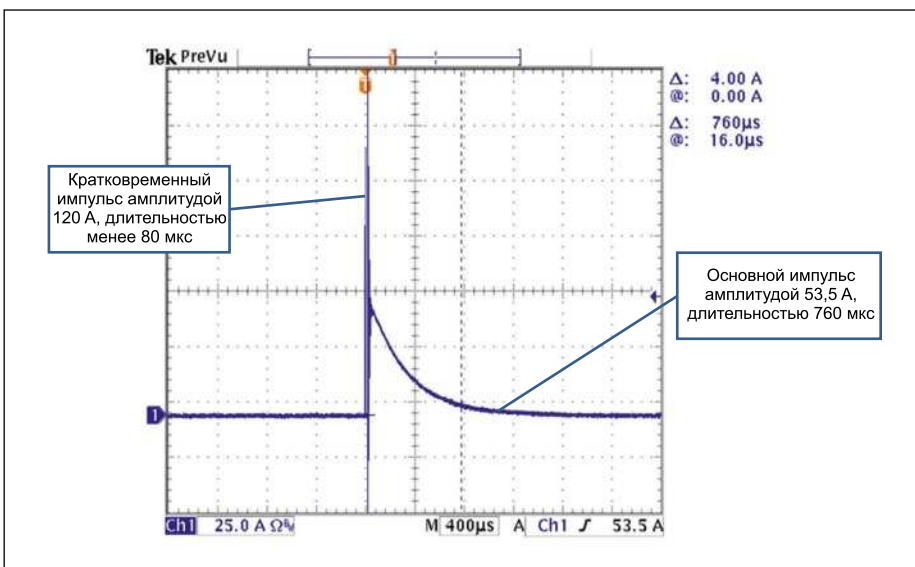


Рис. 5. Осциллограмма мгновенных значений пускового тока устройства управления («драйвера») светильника с СД с комбинированной структурой импульса [8]

ких компаниях-членах АПСС, погрешность измерений пускового тока и длительности его импульса должна находиться в пределах $\pm 10\%$ с доверительной вероятностью 0,9.

2. Блок «синхронизатор запуска»

Очевидно, что пусковые характеристики ОП, при прочих равных условиях, определяются моментом включения ОП относительно меняющегося с частотой 50 Гц мгновенного значения напряжения питающей электрической сети 230 В. Соответственно, если включение происходит вблизи максимума напряжения, то переходные процессы будут наиболее интенсивны и пусковой ток максимален. Если же включение происходит в зоне перехода напряжения через ноль, то переходные процессы будут минимальны и пусковой ток минимален. На рис. 6 демонстрируется существенная разница амплитуд пусковых токов для включения на максимуме напряжения (а) и в зоне перехода через 0 (б).

Следовательно, при испытаниях ОП, в том числе с отложенным пуском, и измерении параметров пускового тока необходимо исследовать наиболее критичный вариант включения – включение в момент максимальных значений напряжения питания. Кроме того, строгая фиксация момента включения позволит минимизировать погрешности измерений и обеспечивать воспроизводимость результатов.

Во исполнение данного требования при измерениях по описываемой методике используется специальное устройство «синхронизатор запуска», выполненное в виде автономного блока (рис. 7) и включённое в состав установки для проведения испытаний (рис. 1 и 8).

Основная роль синхронизатора запуска – обеспечение подачи напряжения питания на ОП в момент максимума этого напряжения и запуск развёртки осциллографа в момент, обеспечивающий фиксацию изменения пускового тока ОП. При этом внутри блока расположен калиброванный шунт, обеспечивающий точную фиксацию мгновенных значений пускового тока осциллографом.

Основные характеристики блока «синхронизатора запуска» приведены в таблице.

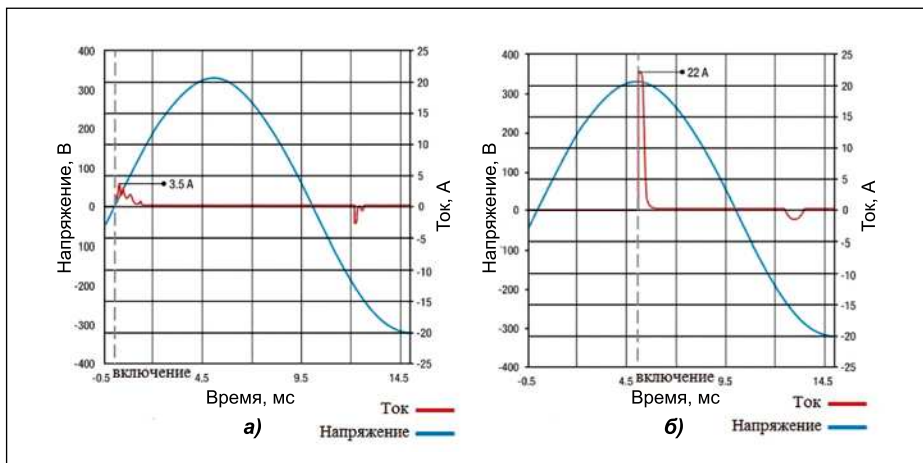


Рис. 6. Различие амплитудных значений пусковых токов в зависимости от момента включения

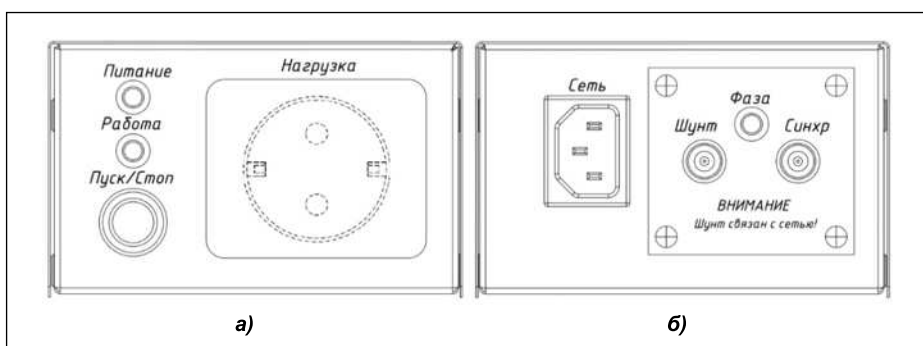


Рис. 7. Внешний вид синхронизатора запуска (С3): а – передняя панель; б – задняя панель

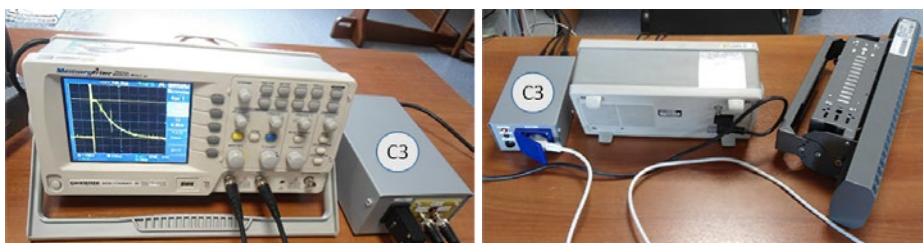


Рис. 8. Синхронизатор запуска (С3) в составе установки для проведения испытаний пускового тока

3. Заключение

Описанная в статье методика – «методика определения электрических характеристик ОП с СД источниками света во время включения (пуска)» – при условии её аттестации и включения в перечень рекомендованных к использованию позволит определять необходимые параметры импульсов пускового тока ОП, достаточные для рационального проектирования систем электроснабжения ОУ. Тем самым снимется существующая неопределённость в вопросе измерения пусковых токов ОП.

Кроме того, данная методика позволит, соблюдая единообразие, сформировать статистику по реальным значе-

ниям пусковых токов в системах электропитания ОУ на реальных объектах и затем на её основе установить критерии качества для уровней пусковых токов отдельных ОП. Развитием данной методики служит создание установки измерений амплитуды и длительности пускового тока ОП не от сети питания, характеристики которой могут зависеть от многих факторов, а от источника постоянного тока с буферным накопительным конденсатором. Это позволит измерять параметры пускового тока в широком диапазоне напряжений при улучшении повторяемости результатов.

От лица нашей компании и всех компаний, входящий в состав АПСС, авторы призывают всех участников

Основные характеристики блока «синхронизатор запуска»

Параметр	Значение
Диапазон напряжения питания (перем. тока), В	100–264
Максимальный длительный ток, А	10
Максимальный пиковый ток длительностью 20мс, А	400
Критическая скорость нарастания тока без учёта параметров сети, А/мкс	50
Внутреннее падение напряжения при токах в нагрузке	
10А, В	1,25
50А, В	1,85
100А, В	2,6
200А, В	4,2
400А, В	7,25
Сопrotивление внутреннего измерительного шунта, Ом	0,0075
Класс точности шунта	0,5
Тип шунта	75ШСМ3–10–0,5
Фазовый угол подачи напряжения питания в нагрузку от точки пересечения нуля, °	85–90
Ток утечки сеть-нагрузка при напряжении питания 265В в режиме «Стоп», мА	0,8–1
Амплитуда импульса на разъёме «Синхр», В	5

рынка и профильные федеральные органы исполнительной власти поддерживать изложенный здесь подход и способствовать ускорению аттестации описанной методики с целью скорейшего превращения её в полноценную узаконенную методику измерения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сибриков А.В., Киричек А.И. Применение светодиодов для освещения г. Москвы. Проблемы эксплуатации // Светотехника. – 2017. – № 1. – С. 28–31.

2. Абрамов А.В., Богданов А.А., Данилко А.В., Дмитриев П.Б., Карев А.В., Степанов А.В. Электрические характеристики ОП со светодиодными источниками света при включении и требования к устройствам защиты сети электропитания // Полупроводниковая светотехника. – 2020. – № 2. – С. 28–31.

3. Impact of LED Lighting on Electrical Networks / EN // White Paper// 998–2095–10–07–17AR0_EN. URL: https://download.schneider-electric.com/files?p_Doc_Ref=998–2095–10–15–14AR0_EN (дата обращения: 12.05.2020).

4. ANSI C82.16–2015 American National Standard for Light-Emitting Diode Drivers – Methods of Measurement.

5. ГОСТ ИЕС61009–1–2014 «Выключатели автоматические, срабатывающие от оста-

точного тока, со встроенной защитой от тока перегрузки, бытовые и аналогичного назначения. Часть 1. Общие правила».

6. ГОСТ ИЕС60269–1–2016 «Предохранители плавкие низковольтные. Часть 1. Общие требования».

7. IEC60898–1:2015/AMD1:2019 Amendment 1 – Electrical accessories – Circuit-breakers for overcurrent protection for household and similar installations – Part 1: Circuit-breakers for a.c. operation.

8. An overview of circuit breakers, LED Driver input and inrush current, and how to load a circuit breaker with Inventronics LED Drivers. / Inventronics Circuit Breakers. URL: <https://www.inventronics-co.com/wp-content/uploads/2018/04/Circuit-Breaker-App-Note.pdf> (дата обращения: 12.05.2020).



Абрамов Анатолий Вячеславович, инженер. Окончил в 2013 г. Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР) по специальности «Промышленная электроника».

Инженер-конструктор ООО МГК «Световые Технологии». Область научных интересов: схемотехника, электроника, светотехника



Богданов Александр Александрович, кандидат техн. наук. Окончил в 1997 г. Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им.

В.И. Ульянова (Ленина) по специальности «Микроэлектроника». Руководитель отдела нормативно-технического регулирования ООО «МГК «Световые Технологии». Член правления АПСС. Сфера научных интересов: микроэлектроника, оптоэлектроника, светотехника



Данилко Андрей Владимирович, инженер. Окончил в 1993 г. Кыргызский технический университет по специальности «Радиоэлектронная аппаратура». Руководитель Центральной заводской лаборатории ООО «МГК «Световые Технологии».

Область научных интересов: испытание РЭА



Дмитриев Пётр Борисович, инженер. Окончил в 1995 г. МЭИ. Руководитель технического отдела ООО «МГК «Световые Технологии». Область научных интересов: стандартизация, программирование



Карев Александр Владимирович, кандидат техн. наук. Окончил в 1983 г. МЭИ. Технический директор ООО «МГК «Световые Технологии». Область научных интересов: светотехника



Степанов Андрей Владимирович, инженер. Окончил в 2007 г. Рязанский государственный радиотехнический университет, кафедры «Радиотехнические системы». Руководитель бюро

электронных систем ООО «МГК «Световые Технологии». Область научных интересов: схемотехника, светотехника, микроэлектроника