

Александр Беспалько | avb@plain.com.ru | Андрей Зорькин | zorkin@plain.com.ru  
Игорь Коростелев | plain@plain.com.ru | Владимир Мясин | mva@plain.com.ru

# Стенд контроля параметров драйверов светодиодных светильников

XXI в. по праву входит в историю развития современной электроники как золотой век полупроводникового светодиода. Объективные тенденции развития мирового энергетического рынка явились своеобразным катализатором для поиска и внедрения инновационных энергосберегающих технологий. Одной из наиболее экономически перспективных ниш этого рынка сегодня по праву считается сегмент систем освещения.

По данным исследовательской компании Global Industry Analysts, доля светодиодных осветительных систем на мировом рынке общего освещения, оцениваемом в \$40 млрд., к 2016 г. достигнет 30% его совокупного объема [1], а выгоды от их применения в ведущих экономиках мира — триллионов долларов в течение ближайших 10 лет. Повсеместное внедрение светодиодных осветительных систем — «приговор» окончательный и не подлежащий «обжалованию».

Характерной отличительной особенностью светодиодов как источников оптического излучения является повышенная чувствительность к качеству питающего напряжения. Указанное обстоятельство предопределило необходимость их совместного использования со специальными радиоэлектронными устройствами (драйверами), осуществляющими задачу преобразования переменного напряжения первичной питающей сети в постоянное напряжение и ток с параметрами, необходимыми и достаточными для нормального функционирования нагрузки в виде светодиодов. При этом становится абсолютно очевидным, что прогресс в развитии светодиодного освещения в немалой степени определяется динамикой развития совместно используемых специализированных драйверов — их схемотехникой, элементной базой, технологиями производства.

Важнейшей технологической задачей любого производственного процесса является, как известно, финишный контроль (верификация) готовой продукции, поскольку только он может являться определенным гарантом отгрузки потребителю продукции надлежащего качества. При этом представляется целесообразной и необходимой не только проверка общей

работоспособности (тестирование) драйвера, но и контроль (измерение) гарантируемых производителем параметров во всем диапазоне входных напряжений питающей сети и выходных (нагрузочных) токов.

Стандартное измерительное оборудование для проведения столь специфических измерений в автоматическом режиме в настоящее время отсутствует, в связи с чем производители драйверов вынуждены решать задачу организации финишного контроля качества своей готовой продукции в меру своих индивидуальных возможностей, зачастую жертвуя полнотой контроля.

Специалистами рязанского предприятия ООО «НПФ «Плазмаинформ», позиционирующегося в качестве разработчика и серийного производителя линейки драйверов, выпускаемых под товарным знаком PSL [2, 3], был разработан, изготовлен и внедрен в производство специализированный стенд, выполняющий функцию автоматизированного контроля выпускаемой предприятием номенклатуры драйверов, с производительностью контроля готовых изделий до 5 шт./мин. (1800 шт. в смену).

В рамках предпроектной подготовки был определен обобщенный алгоритм функционирования стенда с реализацией в автоматическом режиме следующих событий:

- задание значения напряжения входной питающей сети в диапазоне 176–264 В;
- задание значения выходного нагрузочного тока (диапазон значений определяется конкретным типом драйвера);
- измерение (вычисление) коэффициента полезного действия  $\eta$  и коэффициента мощности  $K_p$ ;
- измерение значения выходного нагрузочного тока и вычисление уровня его пульсаций в диапазоне входных питающих напряжений и выходных (нагрузочных) токов;
- создание перегрузки (режима короткого замыкания, КЗ) с принятием решения о срабатывании/несрабатывании встроенной защиты драйвера, снятием перегрузки и последующим принятием решения о работоспособности испытуемого драйвера после устранения режима КЗ;

- создание режима «холодного хода» (имитация обрыва в цепи нагрузки драйвера) с измерением выходного напряжения и принятием решения о его нахождении в интервале заданных значений;
- принятие решения о соответствии/несоответствии контролируемых параметров испытуемого драйвера требованиям нормативно-технической документации (технических условий).

Структура испытательного теста, реализующего процедуру контроля нормируемых параметров драйвера в граничных условиях (при наиболее критичных сочетаниях установок со стороны входной питающей сети и цепи нагрузки), представлена в таблице 1.

Суммарная длительность прохождения испытательного теста  $T_{\text{ИЗМ}}$  определяется временем переключения установок (испытательных режимов), временем ожидания установившегося режима работы (временем готовности) испытуемого драйвера и параметрами временного интегрирования, обеспечивающими корректность процедуры измерения контролируемых параметров драйвера.

При автоматизированных измерениях функции человека-оператора сводятся к выполнению операций установки и снятия единицы испытуемой продукции, считывания результата тестирования по критерию «ГОДЕН/НЕ ГОДЕН» и сортировки продукции в соответствии с полученными результатами, а временные затраты на выполнение перечисленных операций характеризуют так называемое подготовительно-заключительное время  $T_{\text{ПЗ}}$ .

Совокупное время тестирования одного драйвера  $T_{\text{ТЕСТ}}$  определяется как

$$T_{\text{ТЕСТ}} = T_{\text{ПЗ}} + T_{\text{ИЗМ}}. \quad (1)$$

Потенциальным решением проблемы сокращения совокупного времени тестирования из расчета на единицу выпускаемой продукции в условиях массового (крупносерийного) производства является реализация режима одновременного измерения контролируемых параметров на  $N$  драйверах. Вместе с тем вывод

о многопозиционности не дает очевидного ответа на вопрос об оптимальном количестве установочных позиций и требует приведения некоторых выкладок.

При реализации процедуры параллельного измерения контролируемых параметров на  $N$  драйверах время тестирования (контроля) из расчета на единицу продукции определяется выражением:

$$T_{\text{ТЕСТ1}} = T_{\text{ПЗ1}} + T_{\text{ИЗМ}}/N. \quad (2)$$

С ростом  $N$  значение  $T_{\text{ИСП}}$  будет асимптотически приближаться к величине  $T_{\text{ПЗ1}}$ .

Графическая интерпретация зависимости  $T_{\text{ТЕСТ1}}$  от  $N$  представлена на рис. 1, из которого становится очевидным, что практическая реализация многопозиционного стенда является экономически оправданной лишь при соблюдении условия:

$$T_{\text{ИЗМ}} \gg T_{\text{ПЗ1}}. \quad (3)$$

На этапе предварительного проектирования, с учетом структуры испытательного теста (табл. 1) и ограничений, накладываемых физиологическими возможностями человека-оператора, значение  $T_{\text{ПЗ1}}$  было ориентировочно принято равным 5 с.

При этом из зависимости, представленной на рис. 1, и соотношения (2) видно, что для  $T_{\text{ИЗМ}}$  равного  $3T_{\text{ПЗ1}}$  наращивание количества позиций с трех до шести не дает существенной экономии совокупного времени тестирования (при двукратном увеличении количества позиций время тестирования снижается с 10 до 7,5 с, а экономия времени не превышает 25%).

Для упрощения задачи своевременной выработки управленческих решений в рамках менеджмента качества выпускаемой продукции представляется целесообразной реализация сквозной статистической обработки результатов тестирования с одновременным архивированием результатов. Это, в свою очередь, обуславливает необходимость применения в структуре стенда вычислительных средств и соответствующего программного обеспечения.

Кроме того, при практической реализации стенда является предпочтительным интегрирование в его структуру известных технических решений и в первую очередь — применение сертифицированных средств измерений (ССИ), представляющих результаты в цифровой форме и имеющих интерфейс сопряжения с ПЭВМ.

По результатам предварительного анализа и выбора ССИ для измерений «входных» параметров драйвера (со стороны входной питающей сети) приоритет был отдан трехфазному счетчику электрической энергии типа «Меркурий-230 AR-03 R» производства фирмы «Инкотекс» (Москва), имеющему пределы допустимой основной относительной погрешности, соответствующие классу точности 0,5S (по ГОСТ 30206-94) при измерении активной энергии и классу точности 1,0 (по ГОСТ 26035) при измерении реактивной энергии соответственно.

Таблица 1. Структура испытательного теста

Номер тест-строки	Сетевая сторона драйвера		Выходная сторона драйвера	
	Установки питающей сети, В	Контролируемый параметр	Установки в цепи нагрузки	Контролируемый параметр
1	220+2%	$P_{\text{АКТ}}; K_{\text{P}}; \eta^*$	Максимальная	$I_{\text{ВЫХ}}; U_{\text{ВЫХ}}; \Delta I_{\text{ВЫХ}}$
	Отключено	—	Короткое замыкание	$I_{\text{ВЫХ}}; U_{\text{ВЫХ}}^{**}$
2	176+2%	—	Максимальная	$I_{\text{ВЫХ}}; U_{\text{ВЫХ}}; \Delta I_{\text{ВЫХ}}$
	Отключено	—	Короткое замыкание	$I_{\text{ВЫХ}}; U_{\text{ВЫХ}}^{**}$
3	176+2%	—	Холостой ход	$I_{\text{ВЫХ}}; U_{\text{ВЫХ}}$
	Отключено	—	Короткое замыкание	$I_{\text{ВЫХ}}; U_{\text{ВЫХ}}^{**}$
4	176+2%	—	Максимальная	$I_{\text{ВЫХ}}; U_{\text{ВЫХ}}; \Delta I_{\text{ВЫХ}}$
	Отключено	—	Короткое замыкание	$I_{\text{ВЫХ}}; U_{\text{ВЫХ}}^{**}$
5	176+2%	—	Короткое замыкание	$I_{\text{ВЫХ}}; U_{\text{ВЫХ}}^{**}$
6	264+2%	—	Минимальная	$I_{\text{ВЫХ}}; U_{\text{ВЫХ}}; \Delta I_{\text{ВЫХ}}$
	Отключено	—	Короткое замыкание	$I_{\text{ВЫХ}}; U_{\text{ВЫХ}}^{**}$

**Примечание:** \* — коэффициент полезного действия  $\eta$  вычисляется по результатам измерения  $P_{\text{АКТ}}, I_{\text{ВЫХ}}, U_{\text{ВЫХ}}$ . \*\* — выходной ток и напряжение измеряются не как параметры драйвера, а с целью контроля режима КЗ.  $P_{\text{АКТ}}$  — активная мощность, потребляемая по цепи первичной питающей сети, Вт;  $K_{\text{P}}$  — коэффициент мощности;  $\eta$  — коэффициент полезного действия (КПД);  $I_{\text{ВЫХ}}$  — выходной (нагрузочный) ток испытуемого драйвера, мА;  $\Delta I_{\text{ВЫХ}}$  — пульсации выходного тока, %;  $U_{\text{ВЫХ}}$  — выходное напряжение испытуемого драйвера, В.

В счетчике электроэнергии реализован цифровой метод измерения с частотой выборки 4 кГц (период 250 мкс) по каждому измерительному каналу (напряжения или тока) с последующим перемножением и вычислением мгновенного значения активной потребляемой мощности.

Помимо обеспечения измерения основных параметров электрической энергии для целей учета энергопотребления, упомянутый счетчик имеет расширенный функционал, позволяющий осуществить измерение (вычисление) целого ряда вспомогательных параметров (включая

необходимые для реализации алгоритма функционирования стенда):

- мгновенной активной мощности по каждой фазе;
- мгновенной реактивной мощности по каждой фазе;
- мгновенной полной мощности по каждой фазе;
- напряжения по каждой фазе;
- угла между фазными напряжениями;
- тока по каждой фазе;
- коэффициента мощности по каждой фазе.

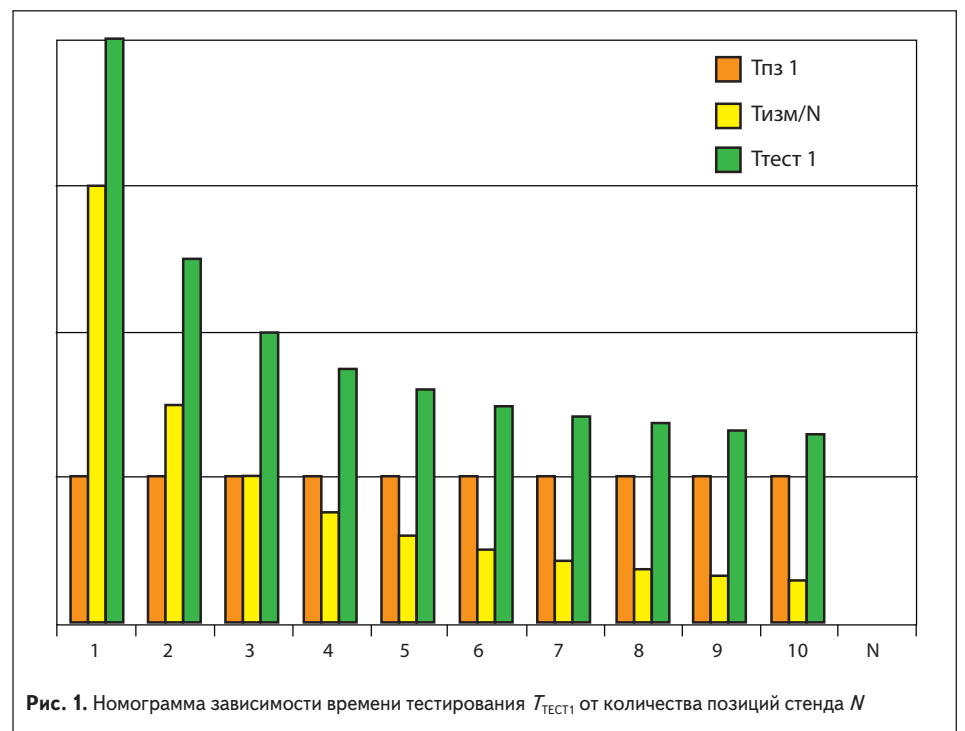


Рис. 1. Номограмма зависимости времени тестирования  $T_{\text{ТЕСТ1}}$  от количества позиций стенда  $N$

Важной особенностью упомянутого счетчика является наличие в нем интерфейса связи RS-485, позволяющего эксплуатацию в автоматизированных системах дистанционного сбора данных о потреблении электроэнергии с подключением счетчика к USB-порту ПЭВМ через адаптер «Меркурий 221», представляющий собой гальванически развязанный преобразователь интерфейса USB в интерфейсы CAN/RS-485/RS-232.

В качестве средства измерений выходных параметров драйвера предпочтение было отдано устройству ЛА-20USB производства ЗАО «РУДНЕВ-ШИЛИЯЕВ», представляющему собой многофункциональную многоканальную (16 дифференциальных каналов) плату аналого-цифрового преобразования для IBM PC/AT-совместимых ПЭВМ с обменом данными через USB-интерфейс.

Помимо 16 дифференциальных аналоговых входов, устройство ЛА-20USB имеет по восемь цифровых входов и выходов, образующих цифровой порт ввода/вывода, обеспечивающий возможность обмена информацией и управления внешними устройствами через USB-интерфейс.

Функциональные возможности рассмотренных выше ССИ позволили осуществить практическую реализацию стенда в виде программно-управляемого измерительного комплекса со структурой, приведенной на рис. 2.

Персональный компьютер (ПЭВМ) и соединенные с ним через порты USB упомянутые выше средства измерений составляют программно-измерительную часть стенда. В свою очередь, блок коммутации и установки с тремя позициями установки драйверов (БКУ), стабилизатор сети (СС), автотрансформатор максимального и минимального сетевого напряжения (АТр max/min), блок нагрузок (БН), блоки ограничения тока (БОТ) и устройство защитного отключения (УЗО) образуют задающую часть стенда.

Номинальное стабилизированное напряжение питающей сети (220 В) с выхода СС через УЗО подается на автотрансформатор, имеющий отводы, соответствующие минимальному (176 В) и максимальному (264 В) граничным значениям диапазона напряжений питания линейки драйверов типа PSL.

УЗО, помимо стандартной функции дифференциальной защиты, обеспечивает однозначность подключения линейного провода стенда к линейному проводу входной питающей сети посредством соединения через резистор нейтрали (N) на выходе УЗО с защитным проводником (PE).

Номинальное стабилизированное сетевое напряжение (220 В) с выхода СС поступает на трехфазный счетчик электрической энергии «Меркурий-230 AR-03 R», причем линейный провод (L) подключается к входам напряжения

и тока по всем трем фазам. Таким образом, на выходе счетчика формируются три выходные линии номинального напряжения (220 В) сети, поступающие на соответствующие входы БКУ, на другие входы подаются соответственно минимальное (176 В) и максимальное (264 В) напряжения с отводов автотрансформатора. Во время тестирования PSL на его входы БКУ подключает напряжение в соответствии с таблицей 1.

В контексте обеспечения высокой эксплуатационной надежности стенда при заданной производительности 1800 измерений за 8-часовую рабочую смену ( $\approx 2,7$  млн переключений в год) особенно актуальной представляется проблема выбора коммутационной аппаратуры.

Низкая износостойкость контактов электромагнитных реле, оцениваемая на уровне  $2 \times 10^5$  циклов коммутации [4], предопределяет однозначность выбора в пользу твердотельных реле (ТТР). С учетом наличия у этих реле такого параметра, как ток утечки, и его влияния на итоговую точность измерений приемлемым в данном конкретном случае становится использование ТТР на основе MOSFET-транзисторов, для которых ток утечки на три порядка ниже (единицы микроампер), чем у их функциональных аналогов — ТТР на симисторах. В силу данного обстоятельства в конструкции стенда были применены твердотельные оптореле производства компании International Rectifier типа

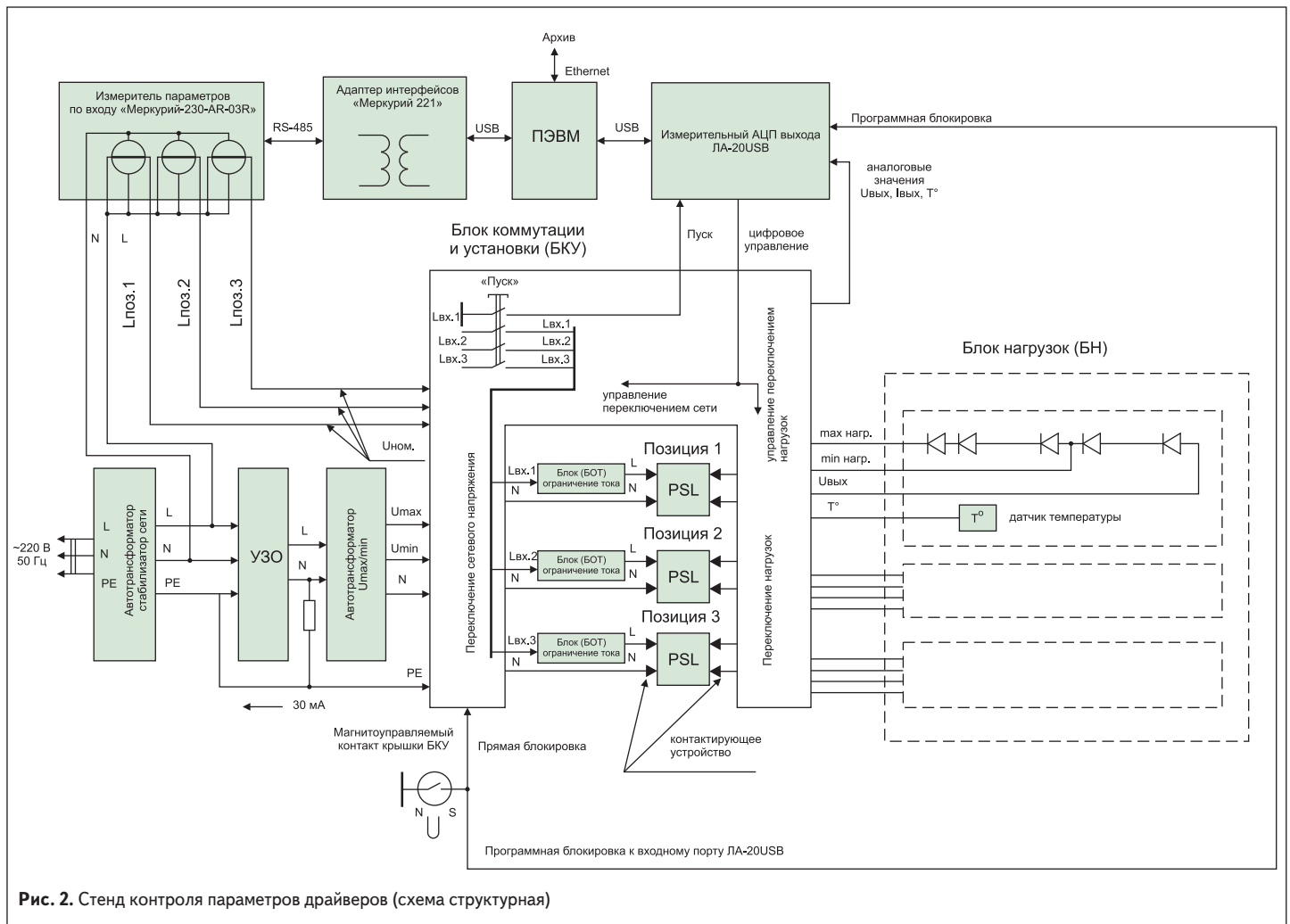


Рис. 2. Стенд контроля параметров драйверов (схема структурная)

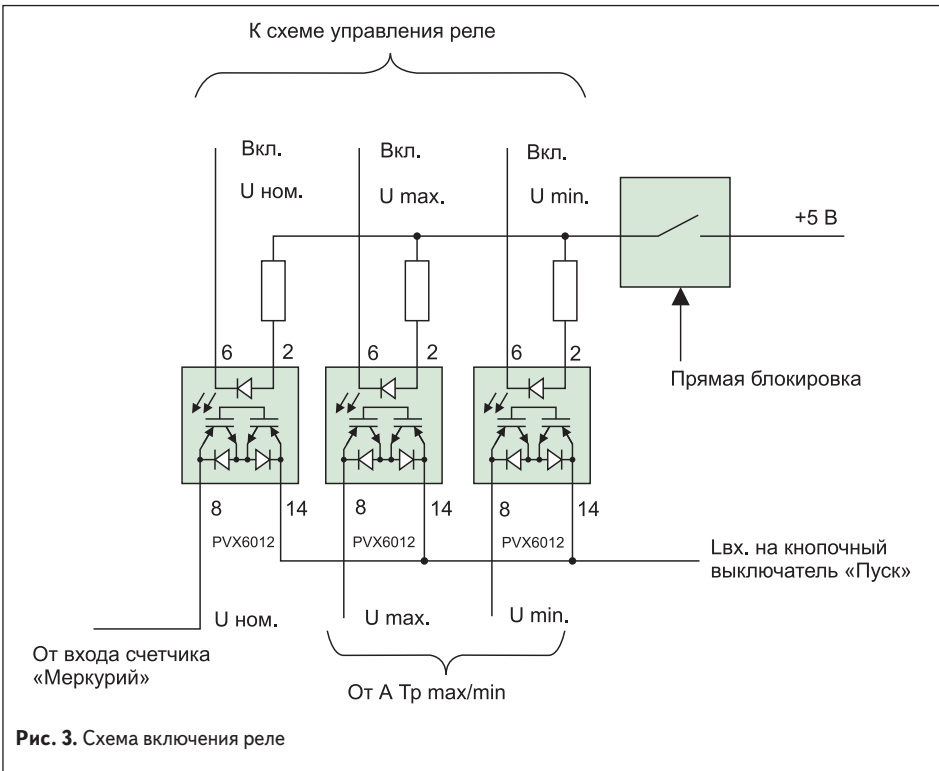


Рис. 3. Схема включения реле

PVX6012 с IGBT-коммутаторами. Включение трех таких реле по схеме «монтажного ИЛИ» (рис. 3) обеспечило коммутацию сетевого напряжения одной позиции стенда.

Потенциальная угроза спонтанного нарастания входного тока PSL при тестировании драйверов с определенными скрытыми производственными дефектами и сопутствующего этому выхода из строя БКУ предотвращается БОТ в каждой позиции стенда. Ограничение реализуется на уровне 10-кратного превышения номинального значения тока, что обеспечивает достаточно «жесткую» сеть при тестировании.

В качестве блока нагрузок для испытуемых (тестируемых) драйверов использованы цепочки светодиодов (имитатор реальной нагрузки), коммутируемых транзисторными ключами из расчета обеспечения нормированных выходных параметров конкретного

типа драйвера в соответствии с исполняемой тестовой строкой (табл. 1).

С учетом температурной зависимости значения прямого падения напряжения на светодиоде (градиент порядка  $-2 \text{ мВ/}^\circ\text{C}$ ) в целях устранения влияния сезонных («зима — лето») и внутрисменных («начало — конец») температурных колебаний на объективность результатов тестирования введено непрерывное измерение температуры и температурная компенсация приемочного значения выходного напряжения.

Как показано на схеме (рис. 2), напряжение на контактирующие устройства позиций БКУ поступает через кнопочный фиксируемый выключатель «ПУСК», имеющий четыре группы контактов, три из которых коммутируют на соответствующие установочные позиции тестируемых драйверов ( $L_{вх}$  на рис. 2 и рис. 3) переменное сетевое напряжение,

выбранное согласно исполняемой тестовой строке (табл. 1), а контакты четвертой группы запускают/останавливают программу ПЭВМ (через LA-20USB) при нажатой/отжатой кнопке выключателя.

Контактирующие устройства БКУ закрываются защитной подвижной крышкой из прозрачного материала, снабженной блокировкой на основе магнитоуправляемого контакта (геркона).

В начальной фазе перемещения защитной крышки из положения «ОПУЩЕНА» в положение «ПОДНЯТА» ( $\approx 10 \text{ мм}$ ) контакты геркона переходят в разомкнутое состояние, переводя тем самым все реле БКУ в состояние «ОТКЛЮЧЕНО» и снимая напряжение с контактирующих устройств стенда. Способ реализации блокировки исключает возможность запуска тестовой программы при исходном нахождении защитной крышки БКУ в положении «ПОДНЯТА». При попытке открытия защитной крышки БКУ при нажатой кнопке выключателя «ПУСК» помимо отключения напряжения и обесточивания контактирующих устройств происходит принудительная блокировка тестовой программы и выдается звуковой сигнал опасности.

Потенциальная возможность работы при закороченной блокировке также исключена, поскольку ПЭВМ отслеживает соблюдение логической последовательности прохождения сигналов с кнопки выключателя «ПУСК» и смены состояний контактов геркона блокировки, и при нарушении этой последовательности блокируется выполнение тестовой программы, отключается реле БКУ и обесточиваются контактирующие устройства. Внешний вид стенда представлен на рис. 4.

Процесс тестирования происходит следующим образом. Предварительно в меню программы «Стенд проверки PSL» ПЭВМ выбирается тест, соответствующий проверяемому типу драйвера, и вносятся идентификаторы проверяемой партии драйверов. После этого оператор устанавливает проверяемые драйверы в контактирующие устройства БКУ, закрывает его защитную крышку, в результате чего на экране монитора ПЭВМ отражается состояние готовности к тестированию (рис. 5), и нажимает кнопку выключателя «ПУСК».



Рис. 4. Внешний вид стенда тестирования драйверов

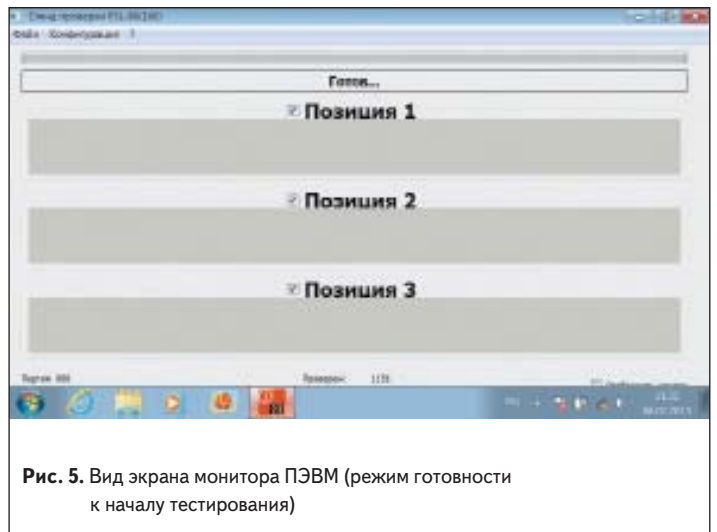


Рис. 5. Вид экрана монитора ПЭВМ (режим готовности к началу тестирования)

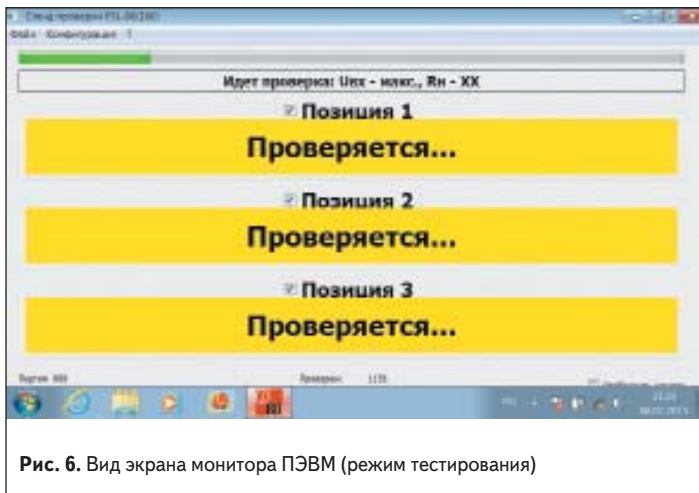


Рис. 6. Вид экрана монитора ПЭВМ (режим тестирования)

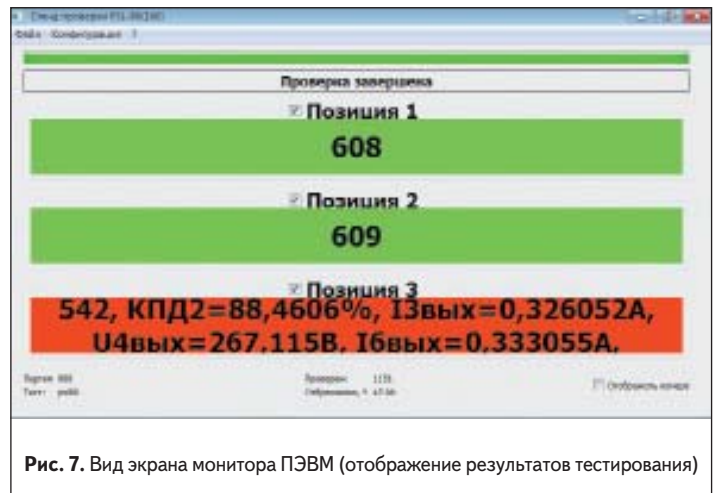


Рис. 7. Вид экрана монитора ПЭВМ (отображение результатов тестирования)

В результате этих манипуляций входы тестируемых драйверов оказываются подключены к реле (рис. 3), на ПЭВМ через ЛА-20USB поступает сигнал «ПУСК» и начинается процесс тестирования (рис. 6).

ПЭВМ по определенному протоколу, через USB-порт и далее через цифровые порты измерительного АЦП (ЛА-20USB), управляет работой БКУ, обеспечивая последовательную реализацию испытательных режимов в соответствии со структурой разработанного теста (табл. 1). При этом в каждом режиме осуществляется синхронное измерение выходных параметров проверяемых драйверов и считывание оцифрованных результатов измерений.

Одновременно через второй USB-порт ПЭВМ синхронно считывает со счетчика электроэнергии «Меркурий-230 AR-03 R» результаты измерения параметров по входной (сетевой) стороне проверяемых драйверов, после чего производится вычисление значений КПД ( $\eta$ ) и коэффициента пульсаций выходного тока.

Измеренные (расчетные) параметры каждого тестируемого драйвера сравниваются с хранящимися в памяти ПЭВМ контрольными значениями, и на монитор выводятся сводные результаты тестирования (рис. 7). По завершении процесса тестирования все реле БКУ автоматически переводятся в состояние «ОТКЛЮЧЕНО», после чего оператор отжимает

кнопку «ПУСК» (дублирующее отключение напряжения), открывает защитную крышку, снимает проверенные драйверы и укладывает в тару в соответствии с результатами тестирования. В дальнейшем процесс тестирования циклически повторяется.

По итогам разработки и изготовления пилотного образца стенда специалистами ООО «НПФ «Плазмаинформ» была проведена оценка его нормированных метрологических характеристик (точности измерения контролируемых параметров), результаты которой представлены в таблице 2.

По завершении метрологической аттестации проведена проверка функционирования стенда (тест-прогон) в автоматическом (циклическом) режиме, по результатам которой подтверждено выполнение исходных требований по производительности контроля готовых изделий до 5 шт./мин. (1800 шт. в смену), а сам стенд рекомендован к введению в эксплуатацию.

Патентные исследования, проведенные по результатам работ, выявили наличие у разработанного продукта признаков патентоспособности, результатом чего явилось оформление и регистрация заявки № 2012154860/07(087064) от 19.12.2012 г. на выдачу патента на полезную модель. По результатам рассмотрения заявки получено положительное решение от 19.02.2013 г. о выдаче патента.

Таким образом, в ходе выполнения разработки специалистами предприятия была успешно решена прикладная задача по созданию нового высокопроизводительного контрольно-тестового оборудования для обеспечения автоматизированного контроля качества драйверов (источников питания) светодиодных светильников общего освещения.

## Литература

1. <http://led22.ru/ledstat/nano/nano.html>
2. Архипов А. и др. Источники питания светодиодов // Полупроводниковая светотехника. 2010. № 5.
3. Заявка на регистрацию товарного знака PSL, № 2012721862 от 02.07.2012.
4. Никитин В. Станут ли твердотельные реле альтернативой реле электромагнитным? // Электронные компоненты. 2003. № 8.

Таблица 2. Результаты оценки нормированных метрологических характеристик стенда

Номер позиции стенда	Контролируемый параметр	Результаты прямых измерений		Относительная погрешность d, %	
		Данные стенда	Данные внешних СИ	Норма	Факт
1	Измерения при номинальном входном напряжении				
	Потребляемая мощность, Вт	54,5	54,9	1,0	0,73
	Коэффициент мощности $K_p$	0,98	0,98	1,0	0
	Выходное напряжение, В	139,7	139,8	1,0	0,07
	Выходной ток, мА	349	350	1,0	0,28
	Измерения при минимальном входном напряжении				
	Выходное напряжение, В	139,2	139,4	1,0	0,14
	Выходной ток, мА	349	350	1,0	0,28
	Ток холостого хода, мА	1,7	1,9	Не нормируется	
	Измерения при максимальном входном напряжении				
Выходное напряжение, В	94,8	95,1	1,0	0,31	
Выходной ток, мА	351	350	1,0	0,28	
2	Измерения при номинальном входном напряжении				
	Потребляемая мощность, Вт	54,83	55,08	1,0	0,45
	Коэффициент мощности $K_p$	0,98	0,98	1,0	0
	Выходное напряжение, В	140,1	140,2	1,0	0,07
	Выходной ток, мА	349	350	1,0	0,28
	Измерения при минимальном входном напряжении				
	Выходное напряжение, В	139,9	140,1	1,0	0,14
	Выходной ток, мА	348	350	1,0	0,56
	Ток холостого хода, мА	1,7	1,9	Не нормируется	
	Измерения при максимальном входном напряжении				
Выходное напряжение, В	94,6	94,9	1,0	0,32	
Выходной ток, мА	350	350	1,0	0	
3	Измерения при номинальном входном напряжении				
	Потребляемая мощность, Вт	55,26	54,60	1,0	1,21
	Коэффициент мощности $K_p$	0,98	0,98	1,0	0
	Выходное напряжение, В	140,2	140,46	1,0	0,19
	Выходной ток, мА	348	350	1,0	0,56
	Измерения при минимальном входном напряжении				
	Выходное напряжение, В	139,9	140,2	1,0	0,21
	Выходной ток, мА	349	350	1,0	0,28
	Ток холостого хода, мА	2,0	1,7	Не нормируется	
	Измерения при максимальном входном напряжении				
Выходное напряжение, В	94,3	94,8	1,0	0,53	
Выходной ток, мА	350	350	1,0	0	